# Inspeção de Aeronaves

*Prof. Evandro Carlos Ferreira*

| | |
|---|---|
| CNPJ | 72.443.914/0001-38 |
| Mantenedora | AERO TD ESCOLA DE AVIAÇÃO CIVIL LTDA - ME |
| Instituição | AERO TD Escola de Aviação Civil |
| Esfera Admistrativa | Privada |
| Endereço (Rua, Nº.)<br>Cidade UF CEP | Rua Madalena Barbi nº 46.<br>Bairro: Centro - Florianópolis SC. CEP: 88.015-200 |
| Telefone Fax | (48) 32235191 |
| Eixo Tecnológico: | Infraestrutura |
| Curso: | Profissionalizante em Manutenção de Aeronaves - Habilitação Aviônicos |
| Carga Horária Total: | 1014 horas |

# Sumário

# Apresentação da Disciplina

*Caro aluno*

*A disciplina* **Inspeção de Aeronaves** *fornecerá a você as informações e o conhecimento necessário sobre inspeção e manutenção de aeronaves. Você deverá entender a sua importância para a segurança e prevenção de acidentes nos voos.*

*Esta disciplina está dividida em dois módulos:*

*No módulo I: Inspeção da Manutenção*

*No módulo II: Inspeção por Partículas Magnéticas e por Líquidos Penetrantes*

*Estarei acompanhando e estimulando seus estudos, orientando no que se fizer necessário.*

*Bons estudos!*

*Prof. Evandro Carlos Ferreira*

*Fonte: advancedaircb.com*

## MÓDULO I

# INSPEÇÃO DA MANUTENÇÃO

## INTRODUÇÃO

Caro aluno,

Neste módulo você verá a importância da inspeção e da manutenção das aeronaves, informações a cerca dos procedimentos a serem seguidos. O que os órgãos oficiais determinam. As técnicas de inspeção, documentação que deve acompanhar as aeronaves, os itens a observar em inspeções especiais, publicações existentes, informações sobre manual de manutenção, regulamentos e especificações e inspeção por partículas magnéticas.

As inspeções são exames visuais e manuais, para determinar a condição de um componente ou de um avião. A inspeção do avião pode se estender desde uma simples caminhada em volta do mesmo até um exame detalhado, compreendendo uma completa desmontagem e a utilização de complexos auxílios à inspeção.

Um sistema de inspeção consiste de diversos processos, compreendendo:

1) As reclamações feitas pela tripulação ou inspetor do avião; e

2) As inspeções regularmente programadas para o avião. O sistema de inspeção é projetado para manter o avião na melhor condição possível. As inspeções gerais e periódicas devem ser consideradas a coluna mestra de um bom programa de manutenção. A inspeção irregular ou ocasional resultará certamente na deterioração gradual e total de uma aeronave. O tempo que deverá ser gasto na consequente recuperação será bem mais longo que o tempo ganho nas rápidas inspeções de rotina e manutenção.

Está provado que as inspeções regularmente programadas e a manutenção preventiva asseguram boas condições de voo. As falhas operacionais e defeitos do equipamento são apreciavelmente reduzidos se o desgaste ou pequenos defeitos forem detectados e corrigidos o mais cedo possível.

Não se pode deixar de enfatizar a importância das inspeções e a utilização correta das fichas de inspeção.

As inspeções da estrutura do avião e do motor podem compreender, desde os testes de pré-voo às verificações detalhadas.

O tempo dedicado aos períodos de inspeção varia com o modelo do avião e de acordo com os tipos de operações levadas a termo.

As instruções do fabricante do avião e do motor devem ser consultadas ao serem estabelecidos os intervalos entre as inspeções.

O avião pode ser inspecionado, utilizando as horas de voo como base de programação ou sob um sistema de calendário. Neste último caso, a inspeção adequada é executada ao se expirar o prazo correspondente a um número específico de semanas. Este sistema é bastante eficiente sob o ponto de vista de controle da manutenção. A substituição programada de componentes que possuem horas limites operacionais é, normalmente, efetuada durante a inspeção sob calendário mais próximo destas limitações.

Em alguns casos, é estabelecido um limite para as horas de voo, compreendidas entre os intervalos das inspeções pelo sistema de calendário.

A inspeção programada, sob o sistema de horas de voo, tem lugar quando é acumulado um número específico de horas voadas. Também, neste caso, os componentes que possuem horas limites operacionais são substituídos durante a inspeção mais próxima destas limitações.

## 1.1 INSPEÇÕES OBRIGATÓRIAS

O órgão regulador do governo estipula a inspeção de toda aeronave civil a intervalos específicos, dependendo geralmente do tipo de operação que realiza, com a finalidade de comprovar seu estado geral. Alguns aviões devem ser inspecionados de 12 em 12 meses, enquanto outros, a cada 100 horas de voo.

Em certos casos, um avião pode ser inspecionado de acordo com um sistema que possibilite sua inspeção total ao longo de determinado tempo ou de horas voadas.

A fim de determinar as normas e exigências de uma inspeção específica, deve-se consultar o órgão regulador do governo que determina os critérios para inspeção e manutenção da aeronave, dependendo da atividade operacional.

## 1.2 TÉCNICAS DE INSPEÇÃO

Antes de iniciarmos uma inspeção, verificamos se todas as tampas, portas de acesso, carenagens e capotas acham-se abertas ou removidas; bem como se a estrutura encontra-se limpa.

Ao se abrir as tampas de inspeção ou capotas, e antes de deixar a área limpa verificamos a presença de óleo ou qualquer outra evidência de vazamento.

## 1.3 FICHAS DE INSPEÇÃO

Utiliza-se sempre uma relação de itens ao realizar a inspeção.

A lista de verificações pode ser de sua própria confecção, fornecida pelo fabricante do equipamento sob inspeção, ou obtida de alguma outra fonte.

A ficha de inspeção deve incluir:

1) Setor da fuselagem e equipamentos:

a) Entelagem e chapeamento, quanto à deterioração, empenos, outras evidências de falha, bem como fixações inseguras ou defeituosas;

b) Sistemas e componentes, quanto à correta instalação, defeitos aparentes e operação satisfatória;

c) Tanques celulares de combustível, tanques de lastro e partes relacionadas, quanto ao estado.

2) Setor das cabines de comando e passageiros:

a) De um modo geral, quanto à limpeza e fixação de equipamentos;

b) Poltronas e cintos de segurança quanto ao estado e fixação;

c) Janelas e para-brisas, quanto à deterioração e rachaduras;

d) Instrumentos, quanto ao estado, fixação, marcações e, quando possível, operação adequada;

e) Controles de voo e dos motores quanto à correta instalação e operação;

f) Baterias, quanto à correta instalação e carga;

g) Todos os sistemas, quanto à correta instalação, estado geral, defeitos aparentes e segurança da fixação.

3) Setor do motor e da nacele:

a) Seção do motor, quanto à evidência de vazamento de óleo, combustível ou fluido hidráulico e o motivo de tais vazamentos;

b) Prisioneiros e porcas, quanto ao aperto correto e defeitos evidentes;

c) Interior do motor, quanto à compressão dos cilindros e quanto à existência de partículas metálicas ou de origem estranha nas telas e bujões dos reservatórios de drenagem. Se a compressão dos cilindros estiver fraca, verificar qualquer irregularidade nas condições e tolerâncias internas;

d) Berço do motor, quanto a rachaduras, folgas nos montantes de fixação ou entre o motor e seus montantes;

e) Amortecedores flexíveis de vibração quanto ao estado e deterioração;

f) Controles do motor, quanto a defeitos inerentes aos comandos e à correta frenagem;

g) Tubulações, mangueiras e braçadeiras, quanto a vazamentos, estado geral e aperto;

h) Descarga do motor, quanto a rachaduras, defeitos e à correta fixação;

i) Acessórios, quanto a defeitos aparentes na segurança da fixação;

j) Todos os sistemas, quanto à instalação correta, defeitos nas condições gerais e fixação adequada;

k) Capota, quanto a rachaduras e defeitos;

l) Acionamento e verificação funcional do motor no solo, quanto ao seu desempenho e a operação adequada dos controles do motor e dos instrumentos.

4) Setor do trem de pouso:

a) Todos os componentes, quanto ao estado e segurança da fixação;

b) Amortecedores, quanto ao correto nível do óleo;

c) Hastes, articulações e suportes, quanto ao desgaste excessivo, fadiga do material e deformações;

d) Mecanismo de retração e distensão quanto à operação correta;

e) Tubulações hidráulicas, quanto a vazamento,

f) Sistema elétrico, quanto a desgaste e operação correta dos interruptores;

g) Rodas, quanto a rachadura e estado dos rolamentos;

h) Pneus, quanto a cortes e desgaste;

i) Freios, quanto ao ajuste correto.

5) Asas e seção central:

a) Todos os componentes, quanto ao estado e fixação;

b) Entelagem e chapeamento, quanto à deterioração, empenos, outras evidências de falha, bem como fixações inseguras ou defeituosas;

c) Estrutura interna (longarinas, nervuras e elementos de compressão), quanto a rachaduras, empenos e fixação;

d) Superfícies móveis, quanto a avarias ou defeitos evidentes, fixação imperfeita da entelagem ou das chapas e deslocamento correto;

e) Mecanismo de controle, quanto à liberdade de movimento, alinhamento e fixação;

f) Cabos de controle, quanto à tensão correta, esgarçamento, desgaste e passagem adequada pelas guias e polias.

6) Setor da empenagem:

a) Superfícies fixas, quanto a avarias ou defeitos evidentes, fixadores frouxos e fixação adequada;

b) Superfícies móveis de controle, quanto a avarias ou defeitos evidentes, fixadores frouxos, entelagem frouxa ou empenos nas chapas;

c) Entelagem ou chapeamento, quanto a desgaste, rasgos, cortes ou defeitos, deformação e deterioração.

7) Setor da hélice:

a) Conjunto da hélice, quanto a rachaduras, mossas, empenos e vazamento de óleo;

b) Parafusos, quanto ao aperto correto e à frenagem;

c) Dispositivos contra formação de gelo quanto à operação correta e defeitos evidentes;

d) Mecanismos de controle, quanto à operação correta, fixação adequada e deslocamento.

8) Setor de comunicações e navegação:

a) Equipamento rádio e eletrônico quanto à instalação correta e fixação adequada;

b) Fiação e cablagens, quanto à disposição correta, fixação adequada e defeitos evidentes;

c) Ligação à massa e blindagem, quanto à instalação correta e condição;

d) Antenas, quanto ao estado, fixação adequada e operação correta.

9) Equipamentos diversos (miscelânea):

a) Equipamento de emergência e primeiros-socorros quanto ao estado geral e armazenagem correta;

b) Paraquedas, barcos salva-vidas, paraquedas luminoso, etc, inspecionar de acordo com as recomendações do fabricante;

c) Sistema de piloto automático, quanto ao estado geral, fixação adequada e operação correta.

## 1.4 DOCUMENTAÇÃO DO AVIÃO

"Documentação do Avião" é um termo usado neste manual, que compreende o livro de bordo e todos os registros suplementares referentes ao avião.

O livro e os registros fornecem um histórico da manutenção e operação, controle das programações de manutenção e informações concernentes à época da substituição dos componentes ou acessórios. O livro de bordo é o documento no qual são registradas todas as informações relativas ao avião. Elas indicam o estado do avião, as datas das inspeções e o tempo da estrutura e dos motores. O livro de bordo reflete a história de todos os acontecimentos importantes relativos à estrutura, seus componentes e acessórios, apresentando ainda, um local para o registro da execução de serviços, exigido pelos órgãos governamentais ou boletins de serviço dos fabricantes.

## 1.5 INSPEÇÕES ESPECIAIS

Durante a vida útil de uma aeronave poderão sobrevir ocasiões em que sejam realizados pousos com excesso de peso ou em que parte de um voo possa ter ocorrido sob turbulência severa. Pousos com impactos severos também ocorrem por motivos diversos.
Na ocorrência de qualquer destas situações, deverão ser observados procedimentos especiais de inspeção, com a finalidade de verificar se houve qualquer dano à estrutura do avião. Os procedimentos descritos nas páginas seguintes são de ordem geral e objetivam familiarizar o mecânico do avião com as áreas que devem ser inspecionadas. Qualquer uma destas inspeções especiais executadas segue sempre os procedimentos detalhados do manual de manutenção do fabricante.

### Inspeção Devido a Pouso com Impacto ou Excesso de Peso

O esforço estrutural exigido durante um pouso depende não somente do peso total do avião, mas também da intensidade do impacto. Entretanto, devido à dificuldade em calcular a velocidade vertical durante o contato, é difícil julgar se um pouso foi suficientemente "duro", a ponto de causar dano estrutural. Por este motivo, uma inspeção especial, após um pouso com peso ou impacto excessivo, deverá ser executada, mesmo que o impacto tenha ocorrido estando o avião com o peso dentro do limite estipulado.
Os sinais mais facilmente detectados de esforço excessivo imposto durante o pouso, são rugas nas chapas das asas.
Outra indicação que pode ser facilmente detectada é o vazamento de combustível ao longo de chapas rebitadas.

Alguns locais possíveis de danos são na "alma" da longarina, anteparos, chapas e fixações das naceles, chapa de paredes de fogo e nervuras das asas e fuselagem.
Se nenhuma dessas áreas apresentarem sinais de terem sido adversamente afetadas, pode-se concluir, razoavelmente, que não houve a ocorrência de avaria grave. Se qualquer irregularidade for detectada, uma inspeção mais prolongada pode se tornar necessária, além de uma verificação de alinhamento.

## Inspeção Devido à Turbulência Severa

Quando o avião enfrenta rajadas, a carga de ar imposta sobre as asas excede a carga normal de sustentação do peso do avião. A rajada procura acelerar o avião, enquanto que sua inércia age no sentido de resistir a esta ação. Se a combinação da velocidade da rajada com a velocidade do avião exceder certos limites, o esforço induzido pode ocasionar danos estruturais.
Uma inspeção especial deve ser executada após o voo em turbulência severa. Muita atenção deve ser dada às superfícies dorsal e ventral das asas, quanto a empenos excessivos ou marcas permanentes de rugas. Onde quer que estas últimas ocorram, devem-se remover alguns rebites e examinar seus corpos quanto a cisalhamento ou deformações.
Inspecionam-se as almas das longarinas, desde a raiz até a ponta das asas, através dos painéis de inspeção e outras aberturas acessíveis. Verificam-se as suas fixações quanto a empenos, rugas ou cisalhamento. Devemos inspecionar se há empenos nas zonas ao redor das naceles, principalmente no bordo de ataque da asa.
Qualquer vazamento de combustível considerável é sinal de que uma área possa ter recebido sobrecargas que romperam a vedação e abriram as costuras da chapa.
Se o trem de pouso foi baixado durante a turbulência severa, inspecionamos cuidadosamente as superfícies quanto a rebites frouxos, fissuras ou empenos. O interior da cavidade do trem de pouso pode apresentar outras indicações decorrentes das rajadas.
O revestimento superior e o inferior da fuselagem devem ser inspecionados. Um momento excessivo de torção pode ter provocado rugas de natureza diagonal nestas áreas.
Inspecionamos o revestimento da empenagem quanto a empenos, rugas ou fixações cisalhadas. Verificamos também, a área de fixação da empenagem à fuselagem.

As inspeções acima abrangem as áreas críticas. Se qualquer dano excessivo for observado em qualquer das áreas mencionadas, a inspeção deve prosseguir até que toda a avaria seja detectada.

## 1.6 PUBLICAÇÕES

As publicações aeronáuticas são as fontes de informação para a orientação dos mecânicos da aviação, na operação e manutenção do avião e equipamentos correlatos.
A utilização correta destas publicações auxiliará bastante na operação e manutenção eficientes de qualquer aeronave. Elas compreendem os manuais, catálogos e boletins de serviço dos fabricantes, regulamentos dos órgãos governamentais, diretrizes de aeronavegabilidade, circulares de recomendação e especificações de avião, motor e hélice.

### Boletins

Os boletins de serviço constituem um dos diversos tipos de publicações editadas pelos fabricantes de aviões, de motores e de componentes.
Os boletins podem incluir:
1) o motivo da publicação;
2) o nome da célula, motor componente a que se refere, ou
3) instruções detalhadas para manutenção, ajustagem, modificação ou inspeção, bem como procedência de peças, caso necessárias; e
4) o número aproximado de homens hora para a realização do trabalho.

### Manual de Manutenção

O manual de manutenção do avião, fornecido pelo fabricante, contém instruções completas para a manutenção de todos os sistemas e componentes instalados a bordo. Ele contém informações para o mecânico que trabalha normalmente nas unidades, conjuntos e sistemas quando estiverem instalados nos aviões.
Não se aplica, portanto, para o mecânico da oficina de revisão. Um manual típico de manutenção de avião inclui:

1) Uma descrição dos sistemas tais como elétrico, hidráulico, combustível, controles de voo, etc.;
2) Instruções para lubrificação, estabelecendo a frequência, os lubrificantes e os fluidos que deverão ser usados nos diversos sistemas;
3) As pressões e cargas elétricas estabelecidas para os diversos sistemas;
4) As tolerâncias e ajustes necessários ao correto funcionamento do avião;
5) Métodos para nivelamento, suspensão e reboque;
6) Métodos de balanceamento das superfícies de controle;
7) Identificação das estruturas das superfícies primárias e secundárias;
8) A frequência e a extensão das inspeções necessárias à operação correta do avião;
9) Métodos especiais de reparo aplicáveis ao avião;
10) Técnicas especiais de inspeção envolvendo raio x, ultrassom ou inspeção por partículas magnéticas;
11) Uma lista de ferramentas especiais.

### Manual de Revisão

O manual de revisão do fabricante contém breve informação descritiva e instruções detalhadas, passo a passo, acerca do trabalho normalmente executado numa unidade removida do avião.
Componentes simples e baratos, tais como, interruptores e reles, nos quais a revisão é antieconômica, não são mencionados no manual.

### Manual de Reparos Estruturais

Este manual apresenta informação e instruções específicas do fabricante para o reparo de estruturas primárias e secundárias.
São cobertos por este manual os reparos típicos de chapa (revestimento), anéis, nervuras, perfis longitudinais, etc., abrangendo também técnicas especiais de reparo e substituição de materiais e fixadores.

### Catálogo Ilustrado de Peças

Este catálogo apresenta vistas detalhadas de componentes da estrutura e dos equipamentos na sequência de desmontagem. Também se acham incluídas as figuras das peças desmontadas e vistas sob diversos ângulos, abrangendo todas as fabricadas pelo construtor do avião.

### Regulamentos Federais para a Aviação (far)

O órgão governamental dos E.E.U.U. estabeleceu por lei, para a aviação, determinados regulamentos que dispõem sobre a segurança e disciplina das operações do voo, estabelecendo ainda os privilégios e deveres dos tripulantes. O conhecimento desses regulamentos torna-se necessário no desempenho da manutenção, posto que todo trabalho executado na aeronave deve estar de acordo com os critérios então estabelecidos.

### Disposições sobre a Segurança do Voo (diretrizes de aeronavegabilidade)

A função básica do órgão federal (no Brasil representado pela ANAC) é exigir a correção de condições que comprometem a segurança do voo, encontradas nos aviões, motores, hélices ou outros dispositivos, quando tais condições existem, possam existir ou se desenvolvam em outros produtos do mesmo projeto. A condição comprometedora pode existir decorrente de erro de projeto, de manutenção ou outras causas. As disposições sobre a Segurança do Voo definem a autoridade e responsabilidade do administrador para fazer cumprir a adoção das medidas corretivas necessárias. Os proprietários de aviões e outras pessoas interessadas são então notificados sobre as condições comprometedoras, recebendo ainda orientação sobre as medidas que deverão tomar para que seus produtos possam continuar em operação. O cumprimento adequado das medidas corretivas deve, então, ser efetivado imediatamente, a menos que sejam concedidas isenções específicas.
As condições sobre a Segurança do Voo podem ser divididas em duas categorias:
1) Aquelas de caráter de emergência, exigindo imediato cumprimento após notificação; e
2) Aquelas de caráter menos urgente, estipulando um prazo para o cumprimento das medidas corretivas.

As notificações para o cumprimento das disposições acima apresentam também o modelo e números de série do produto afetado, quer seja este o avião, motor, hélice ou outro componente.

## Certificado de Aprovação de Aeronave

Este certificado é constituído por folhas de dados que descrevem o projeto do tipo da aeronave e estabelecem as limitações estipuladas nos Regulamentos Federais para a Aviação. Nele também se incluem outras limitações e informações necessárias à emissão do certificado para um modelo determinado de avião.

As folhas de dados são numeradas na parte superior direita de cada página. Este número é o mesmo que o do Certificado de Aprovação. O nome do possuidor do tipo de aeronave, juntamente com os de todos os modelos aprovados, aparece logo abaixo do número do Certificado de Aprovação. A data da emissão do Certificado também é incluída com os dados acima, sendo o conjunto colocado em destaque por linhas limitadoras.

As folhas de dados são classificadas por seções. Cada seção é identificada por um número romano, seguido pela designação do modelo da aeronave.

A categoria, ou categorias, para as quais a aeronave pode ser aprovada aparece entre parênteses logo após o número do modelo. Inclui-se também a data da emissão do Certificado de Aprovação.

As folhas de dados encerram informações relativas a:

1) Designação dos modelos dos motores para os quais o fabricante do avião obteve aprovação para utilização com o modelo do avião;

2) Grau mínimo do combustível a ser utilizado;

3) Regimes de operação máximo contínuo e de decolagem dos motores aprovados, incluindo pressão de admissão (se utilizada), rotações por minuto (R.P.M.) e potência (hp);

4) Nome do fabricante e designação do modelo de cada hélice para a qual o fabricante do avião obteve aprovação, conjuntamente com as limitações e qualquer restrição operacional da hélice ou combinação motor-hélice;

5) Limites de velocidade em milhas por hora (m.p.h.) e nós;

6) Variação do centro de gravidade para as condições extremas de carregamento do avião, apresentada como distância em polegadas, a partir da linha de referência (DATUM), ou em porcentagem da Corda Média Aerodinâmica (C.M.A.);

7) Variação do centro de gravidade para o avião vazio, apresentada como limites dianteiros e traseiros, em polegadas. Não existindo variação, a palavra "nenhuma" seguir-se-á ao item correspondente na folha de dados;

8) Localização da linha de referência(DATUM);

9) Métodos disponíveis para o nivelamento do avião;

10) Todos os pesos máximos correspondentes;

11) Número de assentos e seus braços de momento;

12) Capacidade de óleo e combustível;

13) Movimentos das superfícies de controle;

14) Equipamento necessário;

15) Equipamento adicional ou especial exigido para certificação;

16) Placas com avisos necessários.

Não teremos todos os itens mostrados nesta relação de certificado de aprovação. A lista acima serve apenas para informar ao mecânico quanto aos tipos de assuntos que geralmente aparecem.

## Especificação A.T.A. - 100

A publicação da especificação da Associação de Transporte Aéreo da América dos Assuntos Técnicos dos Fabricantes é datada de 1° de junho de 1956.

Esta especificação criou um padrão de apresentação de dados técnicos para que os fabricantes de aviões, acessórios ou componentes, identificassem seus respectivos produtos.

A fim de padronizar o melhor possível e simplificar o assunto quanto ao problema de localização, um método uniforme de distribuição do material em todas as publicações tem sido desenvolvido.

A Especificação A.T.A. 100 dividiu o avião em sistemas, como o elétrico, o qual cobre basicamente o sistema elétrico (Sist. 24 sub 00). A numeração de cada sistema principal permite uma subdivisão em vários subsistemas.

Os modelos atuais de aviões, aproximadamente 12.500 unidades, têm seus Manuais de Peças e Manuais de Manutenção arranjados de acordo com o sistema A.T.A.

A seguir a tabela com Sistema, Subsistema e Título, conforme A.T.A. para uma familiarização.

| SIST | SUB | TÍTULO | SIST | SUB | TÍTULO |
|---|---|---|---|---|---|
| 21 | | AR CONDICIONADO | 25 | | EQUIPAMENTOS DE CABINE |
| | 00 | Geral | | 00 | Geral |
| | 10 | Compressão | | 10 | Cabine de Comando |
| | 20 | Distribuição | | 20 | Cabine de Passageiro |
| | 30 | Controle de Pressurização | | 30 | *Galley* |
| | 40 | Aquecimento | | 40 | Lavatórios |
| | 50 | Refrigeração | | 50 | Compartimento de Carga e Acessórios |
| | 60 | Controle de Temperatura | | 60 | Emergência |
| | 70 | Regulagem de Umidade | | 70 | Compartimento de Acessórios |
| 22 | | VOO AUTOMÁTICO | 26 | | PROTEÇÃO DE FOGO |
| | 00 | Geral | | 00 | Geral |
| | 10 | Piloto Automático | | 10 | Detecção |
| | 20 | Correção de Velocidade/Altitude | | 20 | Extinção |
| | 30 | Controle Automático das Manetes de Potência | | 30 | Supressor de Explosão |
| 23 | | COMUNICAÇÃO | 27 | | CONTROLES DE VOO |
| | 00 | Geral | | 00 | Geral |
| | 10 | Frequência (HF) | | 10 | Aileron e Compensador |
| | 20 | VHF/UHF | | 20 | Leme e Compensador |
| | 30 | Sistema de Comunicação com o Passageiro | | 30 | Profundor e Compensador |
| | 40 | Interfone | | 40 | Estabilizador Horizontal |
| | 50 | Audio | | 50 | Flapes |
| | 60 | Descarga de Estática | | 60 | *Spoiler*, Dispositivos de Arrasto e Carenagens Aerodinâmicas Variáveis |
| | 70 | Monitor de Vídeo e Audio | | 70 | Travas de Comandos e Amortecedores |
| 24 | | FORÇA ELÉTRICA | | 80 | Dispositivos de Hiper-sustentação |
| | 00 | Geral | 28 | | COMBUSTÍVEL |
| | 10 | Acionamento do Gerador | | 00 | Geral |
| | 20 | Geração AC | | 10 | Armazenagem |
| | 30 | Geração DC | | 20 | Distribuição |
| | 40 | Força Externa | | 30 | Alijamento |
| | 50 | Distribuição de Força Elétrica | | 40 | Indicação |

| SIST | SUB | TÍTULO |
|---|---|---|
| 29 | | FORÇA HIDRÁULICA |
| | 00 | Geral |
| | 10 | Principal |
| | 20 | Auxiliar |
| | 30 | Indicação |
| 30 | | PROTEÇÃO DE CHUVA E GELO |
| | 00 | Geral |
| | 10 | Aerofólios |
| | 20 | Entradas de Ar |
| | 30 | Pitot e Estática |
| | 40 | Janelas e Pára-brisas |
| | 50 | Antenas e Radomes |
| | 60 | Hélices e Rotores |
| | 70 | Linhas de Água |
| | 80 | Detecção |
| 31 | | INSTRUMENTOS |
| | 00 | Geral |
| | 10 | Vago |
| | 20 | Vago |
| | 30 | Gravações |
| | 40 | Computador Central |
| | 50 | Sistema de Aviso Central |
| 32 | | TREM DE POUSO |
| | 00 | Geral |
| | 10 | Trem Principal e Portas |
| | 20 | Trem do Nariz e Portas |
| | 30 | Extensão e Retração |
| | 40 | Rodas e Freio |
| | 50 | Direção |
| | 60 | Posição e Aviso |
| | 70 | Trem Suplementar, *Skis* , Flutuadores |
| | | |
| | | |
| | | |

| SIST | SUB | TÍTULO |
|---|---|---|
| 33 | | LUZES |
| | 00 | Geral |
| | 10 | Cabine de Comando |
| | 20 | Cabine de Passageiro |
| | 30 | Compartimento de Carga e Serviço |
| | 40 | Exterior |
| | 50 | Iluminação de Emergência |
| 34 | | NAVEGAÇÃO |
| | 00 | Geral |
| | 10 | Previsão do Tempo |
| | 20 | Atitude e Direção |
| | 30 | Auxílios de Pouso e Rolagem |
| | 40 | Sistema de Posição Independente |
| | 50 | Sistema de Posição Dependente |
| | 60 | Computação de Posição |
| 35 | | OXIGÊNIO |
| | 00 | Geral |
| | 10 | Tripulação |
| | 20 | Passageiro |
| | 30 | Portátil |
| 36 | | PNEUMÁTICO |
| | 00 | Geral |
| | 10 | Distribuição |
| | 20 | Indicação |
| 37 | | VÁCUO |
| | 00 | Geral |
| | 10 | Distribuição |
| | 20 | Indicação |
| 38 | | ÁGUA/ESGOTO |
| | 00 | Geral |
| | 10 | Potável |
| | 20 | Lavatório |
| | 30 | Esgoto |
| | 40 | Pressurização |

| SIST | SUB | TÍTULO | SIST | SUB | TÍTULO |
|---|---|---|---|---|---|
| 39 | | PAINÉIS ELÉTRICOS/ELETRÔNICOS COMPONENTES MULTIFUNCIONAIS | 53 | | FUSELAGEM |
| | 00 | Geral | | 00 | Geral |
| | 10 | Instrumentos e Painel de Controle | | 10 | Estrutura Principal |
| | 20 | Prateleiras de Equipamentos Elétricos/Eletrônico | | 20 | Estrutura Auxiliar |
| | 30 | Caixa de Junção Elétrica e Eletrônica | | 30 | Chapas de Revestimento |
| | 40 | Componentes Eletrônicos Multifuncionais | | 40 | Elementos de Fixação |
| | 50 | Circuitos Integrados | | 50 | Carenagens Aerodinâmicas |
| | 60 | Montagem de Circuito Impresso | 54 | | NACELES/PYLONS |
| 49 | | APU | | 00 | Geral |
| | 00 | Geral | | 10 | Estrutura Principal |
| | 10 | *Power Plant* | | 20 | Estrutura Auxiliar |
| | 20 | Motor | | 30 | Chapas de Revestimento |
| | 30 | Combustível do Motor e Controle | | 40 | Elementos de Fixação |
| | 40 | Ignição e Partida | | 50 | Carenagens e *Fillets* |
| | 50 | Ar | 55 | | ESTABILIZADORES |
| | 60 | Controles do Motor | | 00 | Geral |
| | 70 | Indicação | | 10 | Estabilizador Horizontal |
| | 80 | Reversores | | 20 | Profundor |
| | 90 | Lubrificação | | 30 | Estabilizador Vertical |
| 51 | | ESTRUTURAS | | 40 | Leme |
| | 00 | Geral | | 50 | Elementos de Fixação |
| 52 | | PORTAS | 56 | | JANELAS |
| | 00 | Geral | | 00 | Geral |
| | 10 | Tripulação/Passageiro | | 10 | Cabine de Comando |
| | 20 | Saída de Emergência | | 20 | Cabine de Passageiro |
| | 30 | Carga | | 30 | Porta |
| | 40 | Serviço | | 40 | Inspeção e Observação |
| | 50 | Interna | 57 | | ASAS |
| | 60 | Escada | | 00 | Geral |
| | 70 | Avisos de Porta | | 10 | Estrutura Principal |
| | 80 | Trem de Pouso | | 20 | Estrutura Auxiliar |
| | | | | 30 | Chapas de Revestimento |
| | | | | 40 | Elementos de Fixação |
| | | | | 50 | Superfícies de Voo |

| SIST | SUB | TÍTULO | SIST | SUB | TÍTULO |
|---|---|---|---|---|---|
| 61 | | HÉLICES | 73 | | COMBUSTÍVEL DO MOTOR E CONTROLE |
| | 00 | Geral | | 00 | Geral |
| | 10 | Conjunto da Hélice | | 10 | Distribuição |
| | 20 | Controle | | 20 | Controle |
| | 30 | Freio | | 30 | Indicação |
| | 40 | Indicação | 74 | | IGNIÇÃO |
| 65 | | ROTOR | | 00 | Geral |
| | 00 | Geral | | 10 | Suprimento de Força Elétrica |
| | 10 | Rotor Principal | | 20 | Distribuição |
| | 20 | Conjunto do Rotor Anti-Torque | | 30 | Interrupção |
| | 30 | Acionamento de Acessórios | 75 | | SANGRIA DE AR |
| | 40 | Controle | | 00 | Geral |
| | 50 | Freio | | 10 | Anti-Gelo do Motor |
| | 60 | Indicação | | 20 | Refrigeração dos Acessórios |
| 71 | | POWER PLANT | | 30 | Controle do Compressor |
| | 00 | Geral | | 40 | Indicação |
| | 10 | Capotas | 76 | | CONTROLES DO MOTOR |
| | 20 | Suportes do Motor | | 00 | Geral |
| | 30 | Parede de Fogo e Periferia | | 10 | Controle da Potência |
| | 40 | Elementos de Fixação | | 20 | Parada de Emergência |
| | 50 | Chicotes Elétricos | 77 | | INDICAÇÃO DO MOTOR |
| | 60 | Entradas de Ar | | 00 | Geral |
| | 70 | Drenos do Motor | | 10 | Força |
| 72 | | MOTOR A REAÇÃO/TURBOÉLICE | | 20 | Temperatura |
| | 00 | Geral | | 30 | Analisadores |
| | 10 | Trem de Engrenagem Redutora/Seção do Eixo (turboélice) | 78 | | DESCARGA |
| | 20 | Seção de Entrada de Ar | | 00 | Geral |
| | 30 | Seção do Compressor | | 10 | Coletor |
| | 40 | Seção de Combustão | | 20 | Supressor de Ruído |
| | 50 | Seção da Turbina | | 30 | Reversor |
| | 60 | Acionamento de Acessórios | | 40 | Ar Suplementar |
| | 70 | Seção By-Pass | 79 | | LUBRIFICAÇÃO |
| 72 | | MOTOR CONVENCIONAL | | 00 | Geral |
| | 00 | Geral | | 10 | Reservatório |
| | 10 | Seção Fronteira | | 20 | Distribuição |
| | 20 | Seção de Força | | 30 | Indicação |
| | 30 | Seção dos Cilindros | 80 | | PARTIDA |
| | 40 | Seção de Compressores | | 00 | Geral |
| | 50 | Lubrificação | | 10 | Acoplamento |

| SIST | SUB | TÍTULO | SIST | SUB | TÍTULO |
|---|---|---|---|---|---|
| 81 | | TURBINAS (MOTOR CONVENCIONAL) | 83 | | CAIXAS DE ACESSÓRIOS |
| | 00 | Geral | | 00 | Geral |
| | 10 | Recuperação de Potência | | 10 | Eixo de Acionamento |
| | 20 | Turbo-Compressor | | 20 | Seção da Caixa |
| 82 | | INJEÇÃO DE ÁGUA | | | |
| | 00 | Geral | | | |
| | 10 | Armazenagem | | | |
| | 20 | Distribuição | | | |
| | 30 | Alijamento e Purgamento | | | |
| | 40 | Indicação | | | |

*Fonte: IAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional*

## Referência Bibliográfica


BRASIL. IAC – Instituto de Aviação Civil. Divisão de Instrução Profissional Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA (Airframe & Powerplant Mechanics-General Handbook). Edição Revisada 2002.


## No Próximo Módulo

No Módulo II, abordaremos os processos de inspeção por partículas magnéticas. Você conhecerá uma das tecnologias existentes na detecção de danos em peças e componentes presentes nas aeronaves.

Espero você!

*Fonte: http://www.ellsworth.af.mil*

## MÓDULO II

# INSPEÇÃO POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS, POR LÍQUIDOS PENETRANTES

## INTRODUÇÃO

Caro aluno,

Neste módulo buscaremos abordar os aspectos presentes nos processos de inspeção por partículas magnéticas e por líquidos penetrantes. Quais os procedimentos a seguir e como este processo nos permite identificar os danos presentes em peças e componentes das aeronaves, quais os equipamentos empregados neste processo, sua operação, materiais indicadores e o processo de desmagnetização.
Essas e outras questões serão abordadas neste módulo.

Vamos lá!

## 2.1 INSPEÇÃO POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

A inspeção por partículas magnéticas é um método de detectar fraturas invisíveis e outros defeitos em materiais ferromagnéticos, tais como ferro e aço.

Esse método de inspeção é um teste não destrutivo, o que significa que ele é realizado na própria peça, sem danificá-la. Ele não é aplicável a materiais não magnéticos.

Nas peças do avião sujeitas a alta rotação, vibração, oscilação e outros reforços, pequenos defeitos se desenvolvem muitas vezes, a ponto de ocasionar dano total à peça.

A inspeção por partículas magnéticas tem provado ser de extrema confiabilidade na detecção rápida em casos de defeitos localizados próximos ou na superfície de peças. O emprego deste método de inspeção não somente indica o local da falha, como também são delineadas a extensão e a forma da mesma.

O processo da inspeção consiste em magnetizar a peça e, então, aplicar partículas ferromagnéticas no local da superfície a ser inspecionada.

As partículas ferromagnéticas (agente detector) podem estar em suspensão num líquido que é aplicado sobre a peça: a peça pode ser mergulhada no líquido de suspensão ou as partículas, em forma de pó seco, podem ser espalhadas sobre a superfície da peça.

O processo do líquido é o mais comumente utilizado na inspeção de peças de avião.

Se alguma descontinuidade estiver presente, as linhas magnéticas de força sofrerão alteração, havendo formação de polos opostos em ambos os lados da descontinuidade. As partículas magnetizadas formam assim uma imagem no campo magnético.

Esta imagem, conhecida como "indicação", apresenta a forma aproximada da projeção da descontinuidade, que pode ser definida como uma interrupção na estrutura ou configuração física normal de irregularidades, tais como, rachadura, sobreposição em peça forjada, costura de solda, inclusão, porosidade e outras. A descontinuidade pode ou não afetar a vida útil de uma peça.

### Desenvolvimento das Indicações

Quando a descontinuidade num material magnetizado encontra-se aberta à superfície, possibilitando a aplicação sobre ela de uma substância magnética, a dispersão do fluxo na descontinuidade tende a formar com o agente detector uma passagem de maior

permeabilidade. (Permeabilidade é o termo usado para se referir à facilidade com que um fluxo magnético pode ser formado num determinado circuito magnético).

Devido ao magnetismo da peça e à aderência mútua das partículas magnéticas, a indicação permanece sobre a superfície da peça sob a forma de contorno aproximado da descontinuidade existente logo abaixo.

Quando a descontinuidade não se encontra aberta na superfície, tem lugar o mesmo fenômeno acima observado, mas pelo fato da dispersão do fluxo ser menor, a aderência das partículas magnéticas é mais fraca, obtendo-se uma indicação menos definida.

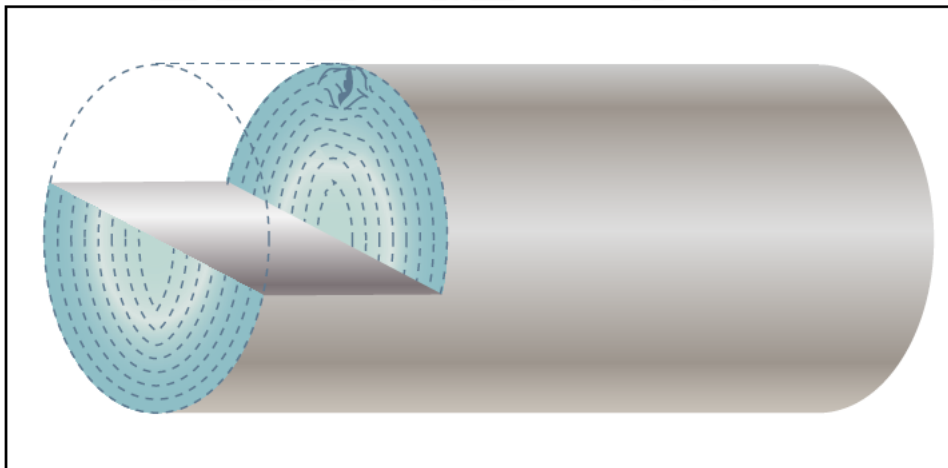
Se a descontinuidade estiver muito abaixo, poderá não haver indicação na superfície. A dispersão do fluxo numa descontinuidade transversal está representada na figura 10-l. A figura 10-2 mostra a dispersão numa descontinuidade longitudinal.

*Fonte: Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA*

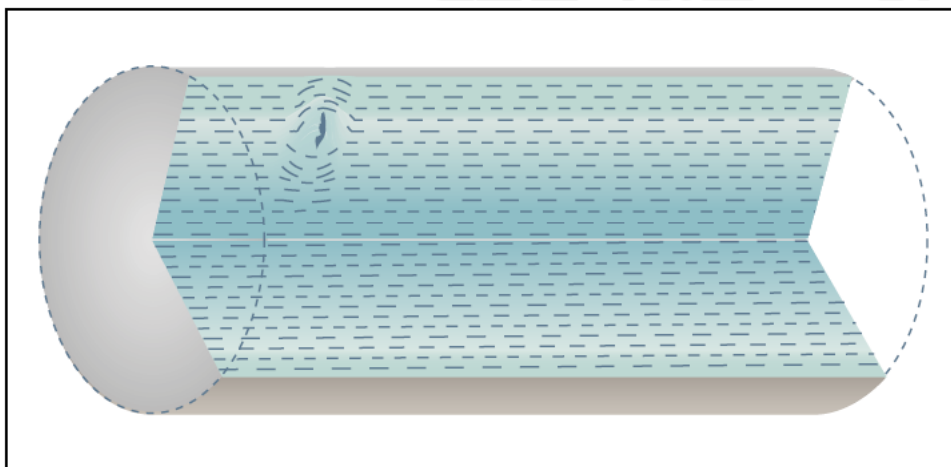
Figura 10-1 Dispersão do fluxo em descontinuidade transversal.

*Fonte: Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA*

Figura 10-2 Dispersão do fluxo em descontinuidade longitudinal.

## Tipos de Descontinuidades Detectadas

Os tipos de descontinuidades detectadas, normalmente pelo teste de partículas magnéticas, são os seguintes: rachaduras, sobreposição em peças forjadas, costuras, fechamento a frio, inclusões, fendas, rasgos, bolsas de retraimento e ocos (vazios).

Todas estas descontinuidades podem afetar a confiabilidade das peças em serviço. Rachaduras, fendas, estaladuras, rasgos, costuras, ocos e bolsas de retraimento são formados por uma separação ou ruptura real do metal sólido. Fechamento a frio e sobreposição são dobras que se formaram no metal, interrompendo sua continuidade.

As inclusões são materiais estranhos, formados por impurezas do metal durante os estágios de seu processamento. Elas podem consistir, por exemplo, de partículas do revestimento da fornalha introduzidas durante a fusão do metal básico ou de outras matérias estranhas. As inclusões interrompem a continuidade do metal porque elas não permitem a junção ou caldeamento de faces adjacentes do metal.

## Preparação das Peças para o Teste

Graxa, óleo e qualquer sujeira devem ser removidos de todas as peças antes que elas sejam submetidas a teste.

A limpeza é muito importante, posto que a presença de graxa ou qualquer matéria estranha pode provocar indicações falsas devido à aderência das partículas magnéticas e a esses corpos estranhos, quando a suspensão líquida é aplicada sobre a peça.

A formação da imagem correta da descontinuidade pode ser prejudicada pela presença de graxa ou outras matérias estranhas. Não é aconselhável confiar na suspensão de partículas magnéticas para limpar a peça.

Qualquer matéria estranha removida por este processo contaminará a suspensão, reduzindo, portanto, sua eficiência.

Na inspeção por partículas magnéticas, utilizando-se pó seco, é absolutamente necessária uma rigorosa limpeza.

Graxa ou outras matérias estranhas fixariam o pó magnético, daí resultando indicações incorretas, tornando ainda impossível espalhar as partículas magnéticas por igual sobre a superfície da peça.

Todas as pequenas aberturas ou furos para lubrificação, conduzindo a passagens ou cavidades internas, devem ser fechados com parafina ou qualquer outra substância adequada não abrasiva.

Camadas leves de banho de cádmio cobrem estanho e zinco não interferem no resultado satisfatório da inspeção por partículas magnéticas.

O resultado ficaria prejudicado se a camada fosse demasiadamente grossa ou se as descontinuidades a serem detectadas fossem extremamente pequenas.

Banhos de cromo ou níquel geralmente não interferirão nas indicações de rachaduras abertas à superfície do metal básico, mas evitarão a indicação de descontinuidades delgadas, tais como inclusões.

A camada de níquel, sendo mais fortemente magnética, é mais prejudicial que a camada de cromo ao impedir a formação das indicações de descontinuidades.

## Efeito da Direção do Fluxo

A fim de detectar uma falha numa peça, torna-se essencial que as linhas de força magnéticas passem perpendicularmente à falha. Torna-se, portanto, necessário induzir fluxo magnético em mais de uma direção, desde que as falhas existam em qualquer ângulo em relação ao eixo maior da peça.

Isto exige duas operações independentes de magnetização, conhecidas como magnetização circular e magnetização longitudinal.

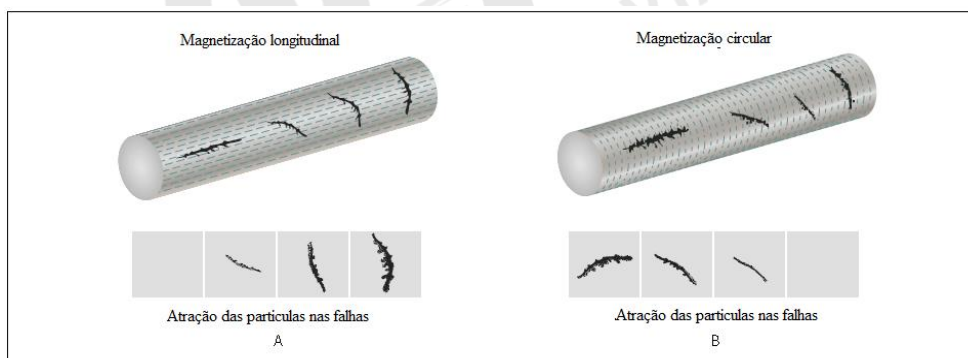
O efeito da direção do fluxo acha-se ilustrado na figura 10-3. Magnetização circular é a indução de um campo magnético constituído por círculos de força concêntricos, ao redor e dentro da peça, fazendo passar a corrente elétrica através da peça. Este tipo de magnetização localizará falhas no sentido paralelo ao eixo da peça.

*Fonte: Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA*

Figura 10-3 Efeito da direção do fluxo na intensidade da indicação.

A magnetização circular de uma peça de seção transversal sólida acha-se ilustrada na figura 10-4.

Cada extremidade da unidade magnetizadora é ligada eletricamente a um painel de controle, de tal modo que, ao ser fechado o contato, a corrente magnetizadora passa de uma para outra extremidade da peça, através da mesma.

*Fonte: Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA*

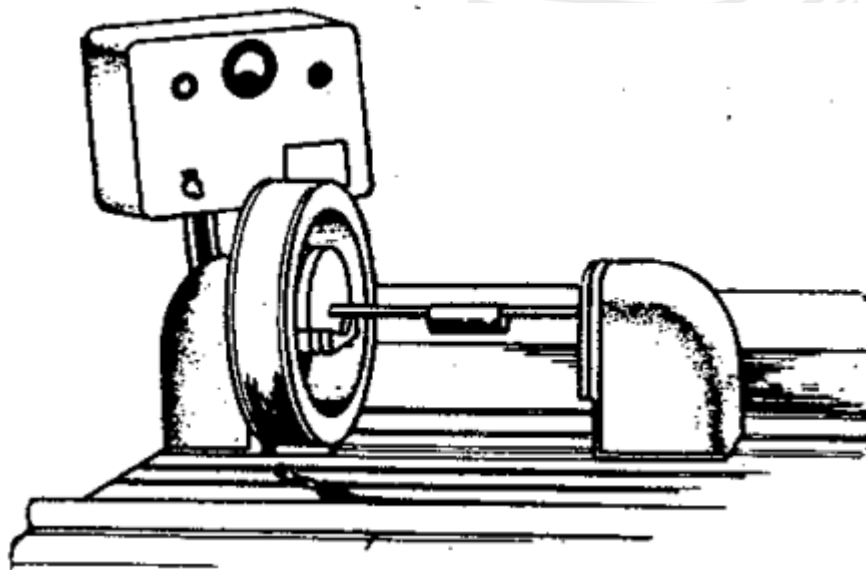
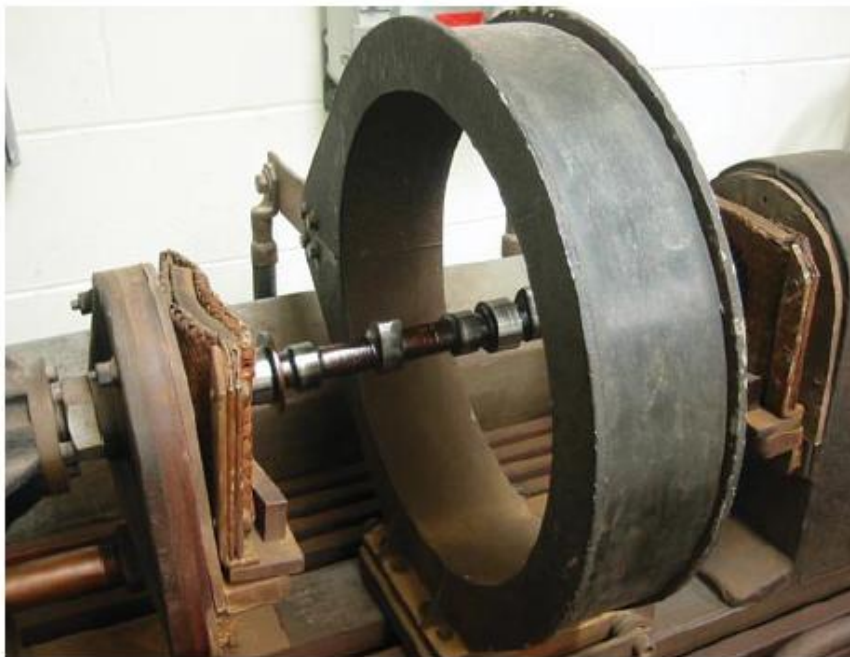
Figura 10-4 Magnetização circular de um eixo manivela.

*Fonte: Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional*

Figura 10-5 Magnetização circular de um pino de pistão com barra condutora.

A figura 10-5 ilustra a magnetização circular de uma peça de seção transversal oca, passando a corrente magnetizadora por uma barra condutora localizada no eixo da peça.
Na magnetização longitudinal, o campo magnético é produzido numa direção paralela ao eixo maior da peça. Isto é feito colocando-se a peça no interior de um solenoide excitado por corrente elétrica. A peça metálica torna-se então o núcleo de um eletroímã e é magnetizada pela indução do campo magnético criado no solenoide. Na magnetização longitudinal de peças compridas, o solenoide deve ser movimentado ao longo da peça a fim de magnetizá-la (Ver a figura 10-6). Isto é necessário para assegurar uma intensidade de campo adequada através de todo o comprimento da peça.

*Fonte: Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA*
Figura 10-6 Magnetização longitudinal do eixo manivela (método do solenoide).

Os solenoides produzem magnetização efetiva até aproximadamente 12 polegadas a partir de cada extremidade da bobina, podendo acomodar peças ou seções de até 30 polegadas de comprimento.
Uma magnetização longitudinal equivalente àquela obtida pelo solenoide pode ser realizada, enrolando-se em torno da peça um condutor elétrico flexível, como mostra a figura 10-7.
Ainda que este método não seja tão conveniente, ele apresenta a vantagem das bobinas se acomodarem melhor com o formato da peça, produzindo assim uma magnetização mais uniforme.

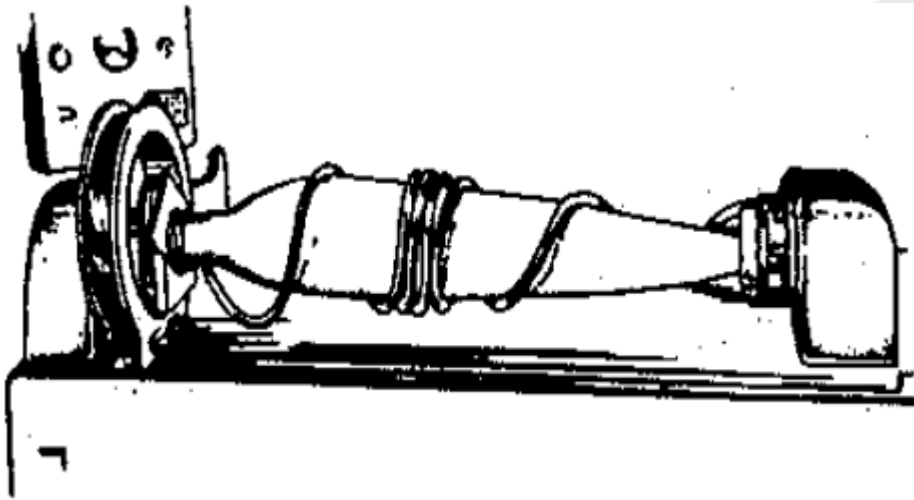
O método da bobina flexível é também utilizado nas peças de grande porte ou de formato irregular, para as quais não existem solenoides adequados.

*Fonte: Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional*

Figura 10-7 Magnetização longitudinal de pá de hélice metálica (método do cabo flexível).

### Efeito da Densidade do Fluxo

A eficiência da inspeção por partículas magnéticas depende também da densidade do fluxo, ou intensidade do campo sobre a superfície da peça, quando é aplicado o agente detector.
À medida que é aumentada a intensidade do fluxo na peça, a sensibilidade do teste também aumenta, devido à maior dispersão do fluxo nas descontinuidades, resultando daí a formação de contornos mais detalhados de partículas magnéticas.
Entretanto, densidades de fluxo excessivamente elevadas poderão formar indicações sem importância como, por exemplo, os contornos do fluxo granular no material. Essas indicações interferirão na detecção dos contornos resultantes de descontinuidades importantes. Torna-se assim necessário utilizar uma intensidade de campo suficientemente elevada para detectar todas as possíveis falhas prejudiciais, mas não tão elevada que seja capaz de produzir indicações indevidas e confusas.

### Métodos de Magnetização

Quando uma peça é magnetizada, a intensidade de campo nela resultante aumenta até certo limite, assim permanecendo, enquanto a força magnetizadora for mantida.

## Identificação das Indicações

A avaliação correta do caráter das indicações é extremamente importante, porém apresenta alguma dificuldade somente pela observação das mesmas.

As características principais das indicações são a forma, o tamanho, a largura e a nitidez do contorno. Estes aspectos são geralmente mais úteis em determinar o tipo de descontinuidades do que propriamente a sua importância.

Entretanto, uma observação cuidadosa do caráter do molde das partículas magnéticas deve sempre ser incluída na avaliação completa da importância de uma descontinuidade indicada.

As indicações mais rapidamente distinguíveis são as produzidas por fendas abertas na superfície. Essas descontinuidades incluem rachaduras por fadiga, por tratamento térmico, por contração em soldas e fundição e por esmerilhamento.

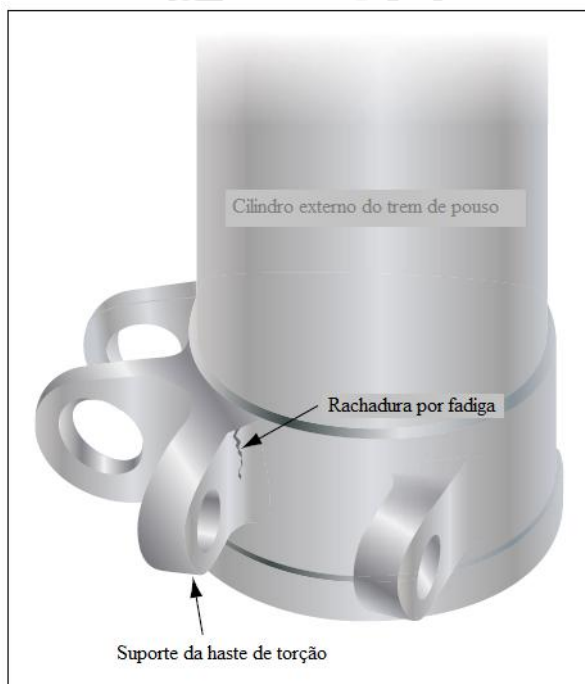
A figura 10-8 ilustra uma rachadura por fadiga.

*Fonte: Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA*

Figura 10-8 Rachaduras por fadiga num trem de pouso

As rachaduras por fadiga apresentam contornos nítidos e definidos, geralmente uniformes e sem interrupção em todo o comprimento e de tamanho razoável.

Apresentam aparência serrilhada, comparada com as indicações retas de fadiga em costura, podendo também mudar ligeiramente de direção em certos locais.

Geralmente situam-se em áreas submetidas a grandes esforços.

É importante compreender que mesmo uma pequena rachadura por fadiga indica que o defeito da peça acha-se positivamente em progressão.

As rachaduras provocadas por tratamento térmico apresentam um esboço suave, porém, geralmente são menos perceptíveis e menores que as rachaduras por fadiga.

Nas peças com seções finas, como paredes de cilindros, as rachaduras por tratamento térmico podem apresentar contornos bem definidos (figura 10-9), com a forma característica consistindo de traços curtos denteados e agrupados.

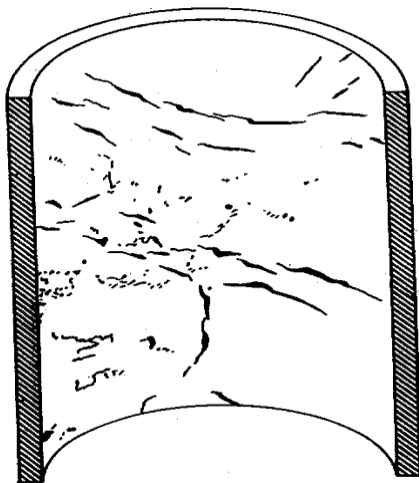
As rachaduras por contração apresentam um contorno nítido e definido, embora o traçado seja comum e muito denteado. Sendo as paredes das fraturas por contração muito estreitas, suas indicações normalmente não atingem a extensão das indicações observadas nas fraturas por fadiga.

*Fonte: Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA*

Figura 10-9 Rachaduras por tratamento térmico em parede de cilindro.

As fraturas provocadas por esmerilhamento também apresentam contornos nítidos e bem definidos, porém raramente de tamanho considerável, dada a sua profundidade limitada. Essas fraturas podem apresentar indicações que variam de um simples a um considerável conjunto de traços. As fraturas por esmerilhamento estão geralmente relacionadas com a direção do esmerilhamento.

Exemplificando: a fratura comumente tem início e continua em ângulo reto à direção de rotação do rebolo, apresentando um contorno ligeiramente simétrico. Indicações de

fraturas por esmerilhamento podem frequentemente ser identificadas através dessa correlação.

As indicações das rupturas nas costuras de solda são geralmente retas, bem definidas e delicadas. Elas são muitas vezes intermitentes, podendo apresentar tamanho reduzido.

Os traços (linhas muito finas) são costuras muito delicadas nas quais as paredes da costura foram muito comprimidas durante a fabricação da peça.

As indicações desses traços são muito delicadas e bem definidas, com tamanho muito reduzido. As descontinuidades desse tipo somente são consideradas perigosas nas peças sujeitas a esforços elevados.

As inclusões são corpos não metálicos, tais como materiais de escória e componentes químicos que ficaram presos nos lingotes em solidificação. Elas são comumente alongadas e esticadas à medida que o lingote passa pelas subsequentes operações de processamento.

As inclusões apresentam-se nas peças sob diversos tamanhos e formatos, desde um filete facilmente identificado pela vista, até partículas somente visíveis sob ampliação. Numa peça pronta elas podem se apresentar como descontinuidades na superfície ou sob ela.

As indicações das inclusões sub-superficiais são geralmente largas e indefinidas. São poucas vezes contínuas ou de mesma espessura e densidade ao longo de seu comprimento. Inclusões maiores, principalmente aquelas próximas ou abertas à superfície, apresentam indicações mais facilmente definidas.

Uma inspeção mais apurada revelará geralmente sua falta de definição e o fato de que a indicação consiste de diversas linhas paralelas, em lugar de uma linha única. Tais características geralmente distinguirão uma inclusão séria de uma rachadura.

Quando cavidades acham-se localizadas bem abaixo da superfície da peça, o teste por partículas magnéticas não é um método confiável de detectá-las. Mesmo que qualquer indicação seja obtida, será provavelmente um contorno impreciso e indefinido da cavidade, com o detector magnético procurando se distribuir sobre toda a área, em vez de apresentar claramente o contorno da descontinuidade. Defeitos desse tipo são mais facilmente detectados pelos métodos radiográficos.

As sobreposições ou dobras podem ser identificadas por sua forma e localização. Elas normalmente aparecem nas extremidades de uma forjadura e suas indicações são comumente bem marcantes e irregulares.

A indicação de uma dobra de qualquer comprimento é comumente interrompida formando ilhas e ramificações curtas e um aspecto de escama apresentado na dobra revela invariavelmente contornos em forma de leques que partem da indicação principal.

Quando um lingote se solidifica, a distribuição dos vários elementos ou componentes não é geralmente uniforme em toda a estrutura do lingote. Poderá então ocorrer uma pronunciada separação de alguns componentes. No processo da forjadura e consequente laminação do lingote, essas separações são alongadas e reduzidas nos cortes transversais.

Depois de subsequente processamento, elas podem aparecer como finas linhas ou faixas paralelas, conhecidas como enfaixamento.

A separação sob a forma de faixas é algumas vezes detectada pela inspeção por partículas magnéticas, principalmente quando se utilizam campos magnéticos de alta intensidade. Esse tipo de separação geralmente não é prejudicial.

A forma mais séria de separação ocorre provavelmente na fundição. Neste caso, a condição básica do metal permanece inalterada na peça pronta, permanecendo qualquer separação na mesma forma em que foi originada. Ela pode variar no tamanho e, normalmente, terá formato irregular, ocorrendo na superfície ou abaixo dela.

## Inspeção Magnaglo

A inspeção MAGNAGLO é semelhante à de partículas magnéticas, sendo que é utilizada uma solução de partículas magnéticas fluorescentes e a inspeção é feita sob luz negra.

A eficiência da inspeção é aprimorada pelo brilho tipo neon dos defeitos e indicações de pequenas falhas que podem ser percebidas mais rapidamente. Esse é um excelente método para ser utilizado em engrenagens, peças rosqueadas e componentes do motor do avião. O líquido marrom avermelhado usado na pulverização ou banho da peça consiste da pasta MAGNAGLO misturada com óleo fino na proporção de 0,10 a 0,25 onças de pasta por galão de óleo.

Após a inspeção, a peça deve ser desmagnetizada e lavada com solvente.

## 2.2 EQUIPAMENTO PARA MAGNETIZAÇÃO

### Unidade Fixa (não portátil)

Uma unidade fixa para aplicação geral acha-se apresentada na figura 10-10. Essa unidade fornece corrente contínua para processos de magnetização, contínua ou residual, por suspensão. Pode ser aplicada magnetização circular ou longitudinal, utilizando-se corrente alternada retificada ou corrente contínua.

As cabeças de contato constituem os terminais elétricos para a magnetização circular. Uma cabeça tem posição fixa. Sua chapa de contato acha-se montada num eixo envolvido por uma mola de pressão, de modo que a chapa pode ser movimentada longitudinalmente.

A chapa é mantida na posição distendida pela mola, até que a pressão transmitida pela peça através da cabeça móvel a force para trás.

A cabeça móvel desliza horizontalmente sobre guias longitudinais e é comandada por um motor.

O controle é feito através de um interruptor. A mola permite à cabeça móvel deslocar-se até certo limite de compressão e assegura pressão suficiente em ambas as extremidades da peça para garantir um bom contato elétrico.

Um interruptor operado por uma haste localizada na cabeça fixa corta o circuito de comando do motor da cabeça móvel, quando a mola for suficientemente comprimida.

Em algumas unidades de magnetização a cabeça móvel é operada manualmente e a chapa de contato é algumas vezes construída para operar por pressão de ar.

Ambas as chapas de contato são adaptadas com diferentes dispositivos para suportar a peça. O circuito de magnetização é fechado pela compressão de um botão de pressão localizado na frente da unidade.

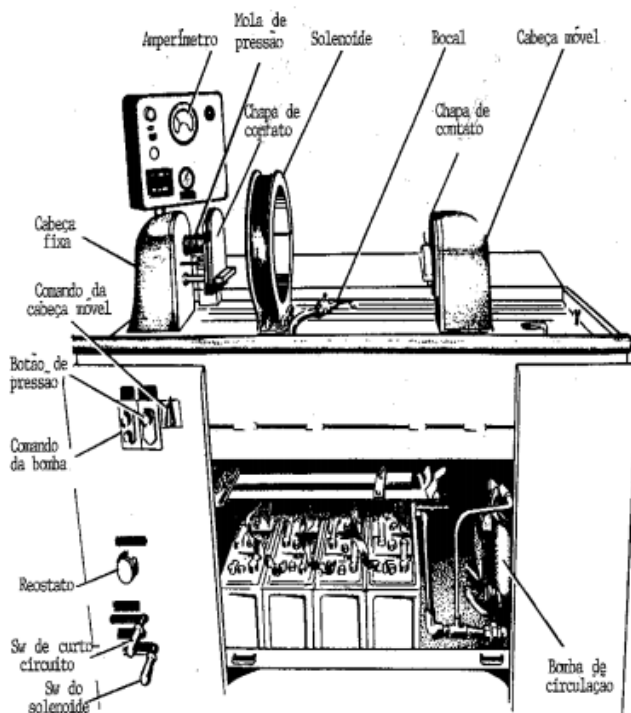
O circuito geralmente é aberto automaticamente após cerca de meio segundo.

*Fonte: Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA*

Figura 10-10 Unidade magnetizadora fixa para uso geral.

A intensidade da corrente magnetizadora pode ser ajustada manualmente no valor desejado por meio do reostato ou aumentada até o limite de capacidade da unidade pelo interruptor de curto-circuito do reostato. A corrente elétrica utilizada é indicada no amperímetro.

A magnetização longitudinal é produzida através de um solenoide que se desloca nas mesmas guias horizontais que a cabeça móvel, sendo ele ligado ao circuito elétrico por meio de um interruptor.

O líquido contendo as partículas em suspensão encontra-se num reservatório, sendo agitado e circulado por uma bomba. O fluido de suspensão é aplicado à peça através de um bocal. Após escorrer pela peça, o líquido passa por uma grelha de madeira e é coletado por uma bandeja que o envia de volta à bomba. A bomba circuladora é operada por um interruptor tipo botão de pressão.

### Unidade Portátil para Uso Geral

Torna-se muitas vezes necessário executar a inspeção por partículas magnéticas em locais onde não se dispõe de unidade fixa de magnetização ou em componentes das estruturas do

avião, sem removê-las do mesmo. Isso tem ocorrido, particularmente, em trem de pouso ou suportes de motor suspeitos de terem desenvolvido rachaduras em serviço. Podem ser encontrados equipamentos adequados a estes tipos de inspeção utilizando para magnetização corrente alternada ou corrente contínua. Um exemplo típico acha-se apresentado na figura 10-11.

Essa unidade é simplesmente uma fonte de corrente magnetizadora, não possuindo condições para suportar a peça ou aplicar a suspensão líquida. Ela opera com corrente alternada (200 volts, 60 Hz) e possui um retificador para produzir corrente contínua.

A corrente magnetizadora é fornecida através de cabos flexíveis. Os terminais dos cabos podem ser equipados com pontas (como mostra a ilustração) ou grampos ou garras de contato. A magnetização circular pode ser obtida utilizando-se as pontas ou as garras.

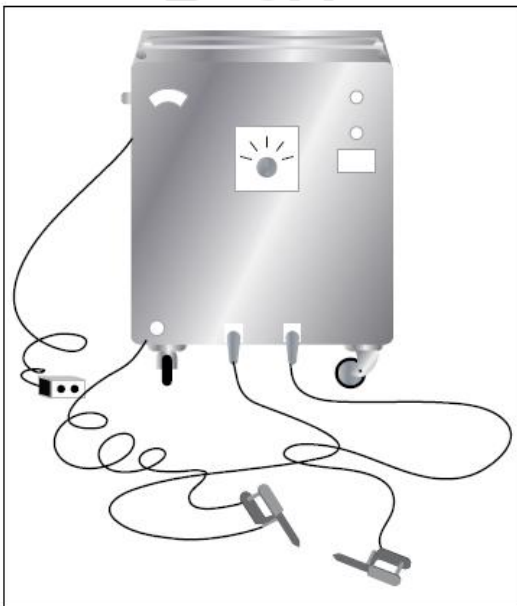
A magnetização longitudinal obtem-se enrolando o cabo ao redor da peça. A intensidade da corrente magnetizadora é controlada por um seletor de oito posições e o tempo de sua aplicação é regulado por um circuito automático semelhante ao utilizado na unidade fixa já descrita.

*Fonte: Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA*

Figura 10-11 Unidade portátil para uso geral.

Essa unidade portátil serve também como desmagnetizador, para isso fornecendo corrente alternada de alta amperagem e baixa voltagem. Para a desmagnetização, a corrente alternada é passada pela peça e gradualmente reduzida por meio de um redutor de corrente.

Ao testar grandes estruturas com superfícies planas, onde a corrente deve passar pela peça, torna-se, às vezes, impossível usar as garras de contato. Nesse caso são utilizadas as pontas. As pontas também podem ser utilizadas com a unidade fixa. A peça ou conjunto sob teste pode ser mantida acima da unidade fixa e a suspensão líquida aplicada com mangueira na área. O excesso da suspensão é drenado para o interior do reservatório. O método seco também pode ser utilizado.

As pontas devem ser seguradas firmemente de encontro à superfície sob teste. Há a tendência da corrente de alta amperagem provocar queimaduras nas áreas de contato, mas com o devido cuidado estas queimaduras serão bem reduzidas. Para aplicações onde a magnetização por pontas é aconselhável, leves queimaduras não são tomadas em consideração.

Quando é desejável utilizar cabos com a unidade fixa como fonte de energia, torna-se conveniente o uso de um bloco de contato. Esse consiste de um bloco de madeira em cujas extremidades são adaptadas chapas de cobre para receber os terminais dos cabos.

Quando o bloco de contato é colocado entre as cabeças da unidade fixa, os controles e interruptores da unidade podem ser utilizados para regular a corrente magnetizadora. Este processo apresenta um meio conveniente de ligar os cabos à fonte de energia, eliminando a necessidade de fixação das conexões por meio de parafusos.

Ao passar a corrente magnetizadora por uma pá de hélice de aço para magnetização circular, há possibilidade de queimar a ponta da pá se não forem tomadas certas precauções. Essa possibilidade pode ser eliminada usando-se uma garra articulada presa à cabeça móvel da unidade de inspeção. A garra é revestida com malha de cobre que fornece bom contato elétrico, ajustando-se à curvatura das faces da pá da hélice. Esse arranjo evita o contato elétrico na borda fina da ponta da pá e elimina as correntes de alta intensidade que podem causar queimadura neste ponto. A extremidade de fixação da pá da hélice é suportada por um encaixe montado na cabeça fixa da unidade.

## Materiais Indicadores

Os vários tipos de materiais indicadores disponíveis para utilização na inspeção por partículas magnéticas podem ser classificados em dois grupos: os utilizados no processo líquido e os utilizados no processo seco. O requisito básico para qualquer material indicador é que ele forneça indicações aceitáveis de descontinuidades nas peças.

O contraste proporcionado por um determinado material indicador de descontinuidades na superfície ou no interior da peça é de particular importância. As cores mais utilizadas no processo líquido são o preto e o vermelho. No processo seco são o preto, o vermelho e o cinza.

Para uma operação aceitável, o material indicador deve ser de alta permeabilidade e baixa retentividade. A alta permeabilidade assegura que um mínimo de energia magnética será exigido para atrair o material na dispersão do fluxo causada pelas descontinuidades.

A baixa retentividade assegura que a mobilidade das partículas magnéticas não será prejudicada pelo fato das mesmas partículas magnéticas tornarem-se magnetizadas e atraírem-se umas às outras.

A substância magnética para o processo líquido é geralmente fornecida em forma de pasta.

A pasta vermelha aumenta a visibilidade nas superfícies pretas, ainda que a quantidade exata da substância magnética a ser adicionada possa variar. Uma concentração de 2 onças de pasta por galão do veículo líquido tem sido considerada satisfatória. A pasta não deve ser adicionada ao líquido de suspensão no reservatório da unidade magnetizadora, posto que o agitador e a bomba não são satisfatórios para efetuar a mistura.

O processo correto para o preparo da suspensão é colocar a quantidade adequada da pasta num vasilhame e adicionar pequena quantidade do líquido parceladamente, à medida que se vai misturando os componentes com o auxílio de uma espátula. Quando a pasta estiver totalmente diluída numa mistura líquida uniforme, ela poderá então ser despejada no reservatório.

É importante que no preparo da suspensão seja sempre utilizada substância magnética nova. Quando a suspensão se tornar descolorida ou, de certa forma contaminada a ponto de interferir na formação dos contornos das partículas magnéticas, a unidade deverá ser drenada, limpa e reabastecida com suspensão limpa.

## 2.3 DESMAGNETIZAÇÃO

O magnetismo residual que permanece na peça após a inspeção deve ser removido por uma operação de desmagnetização, antes que a peça volte a serviço. Peças de mecanismos operacionais devem ser desmagnetizadas para evitar que as peças magnetizadas atraiam limalhas ou pequenas lascas, deixadas inadvertidamente no sistema, ou partículas de aço resultantes do desgaste operacional.

O acúmulo dessas partículas numa peça magnetizada pode causar arranhões em mancais ou outras partes trabalhantes.
Os componentes da estrutura do avião também devem ser desmagnetizados, de modo a evitar que os instrumentos sejam afetados.
A desmagnetização entre sucessivas operações de magnetização não é comumente necessária, a menos que a experiência indique que a omissão desta operação resulte em decréscimos da eficiência numa determinada aplicação.
Anteriormente, esta operação era considerada necessária para remover completamente o campo existente numa peça antes que ela fosse magnetizada numa direção diferente.
A desmagnetização pode ser efetuada por vários processos. Possivelmente, o mais conveniente para peças de avião é submeter a peça a uma força magnetizadora com reversão contínua na direção e que, ao mesmo tempo, diminua gradativamente de intensidade.
À medida que a força magnetizadora decrescente é aplicada, primeiro numa direção e em seguida na outra, a magnetização da peça também decresce.

## Método Padrão para Desmagnetização

O processo mais simples para criar uma força magnética reversível e gradativamente mais fraca numa peça utiliza uma bobina de solenoide energizada por corrente alternada. À medida que a peça é afastada do campo alternativo do solenoide, o magnetismo na peça se reduz gradualmente.
Deve ser utilizado um desmagnetizador cujo tamanho seja o mais aproximado possível da peça e para maior eficiência, as pequenas peças devem ser mantidas tão perto quanto possível da parede interna da bobina.
As peças que não perdem rapidamente seu magnetismo devem ser passadas vagarosamente para dentro e para fora do desmagnetizador por diversas vezes, sendo ao mesmo tempo, viradas ou giradas em várias direções. Permitir que uma peça fique no desmagnetizador com a corrente ligada resulta em pouca desmagnetização.
A operação eficiente no processo de desmagnetização consiste em movimentar a peça lentamente para fora da bobina, afastando-a do campo de força magnética. À medida que a peça é afastada, ela deve ser mantida diretamente oposta à abertura, até que se encontre a 1 ou 2 pés do desmagnetizador. A corrente desmagnetizadora não deve ser cortada antes que

a peça esteja a uma distância de 1 a 2 pés da abertura, caso contrário, a peça tornará a ser magnetizada.
Outro processo utilizado com unidades portáteis é passar corrente alternada pela peça a ser desmagnetizada e reduzir gradativamente a corrente a zero.

## 2.4 INSPEÇÃO POR LÍQUIDOS PENETRANTES

A inspeção de penetração é um exame não destrutivo de defeitos abertos à superfície por peças fabricadas de qualquer material não poroso. Ela é aplicada com sucesso em metais como o alumínio, magnésio, latão, cobre, ferro fundido, aço inoxidável e titânio. Este tipo de inspeção pode também ser utilizado em cerâmica, plástico, borracha moldada e vidro.
A inspeção de penetração detectará defeitos, tais como rachaduras superficiais ou porosidade. Estas falhas podem ser ocasionadas em rachaduras por fadiga, por contração, por tratamento térmico, por esmerilhamento, porosidade de retração, fechamento a frio, costura, sobreposição por forjadura e queimaduras. A inspeção de penetração também detectará uma falta de coesão entre metais unidos.
A principal desvantagem da inspeção de penetração é que o defeito deve se apresentar aberto à superfície, a fim de permitir que o agente penetrante atinja o defeito. Por esse motivo, se a peça a ser inspecionada for construída de material magnético, recomenda-se geralmente o uso da inspeção por partículas magnéticas.
A inspeção de penetração depende, para ser bem sucedida, que o líquido penetrante entre na abertura da superfície e aí permaneça, tornando-a perfeitamente visível para o operador.
Há necessidade do exame visual da peça após o processamento da penetração, mas a visibilidade do defeito é aumentada de tal forma que pode ser detectada.
A visibilidade do material penetrante é ainda aumentada por adição de corante que pode ser de qualquer dos dois tipos: visível ou fluorescente. O conjunto para penetrante visível consiste do corante penetrante, emulsificador removedor do corante e revelador.
O conjunto para inspeção de penetração fluorescente consiste de instalação de luz negra bem como aerossóis de penetrante, limpador e revelador.
A instalação de luz negra consiste de um transformador de força, cabo flexível e lâmpada portátil. Graças a seu tamanho, a lâmpada pode ser utilizada em qualquer posição ou localização.
Em síntese, os itens a serem observados ao se executar uma inspeção de penetração são:

A) Completa limpeza da superfície metálica;

B) Aplicação do penetrante;

C) Remoção do penetrante com emulsificador-removedor ou limpador;

D) Secagem da peça;

E) Aplicação do revelador;

F) Inspeção e interpretação do resultado.

## Interpretação dos Resultados

O sucesso e a confiabilidade de uma inspeção com líquido penetrante dependem do cuidado com que a peça foi preparada. Os diversos princípios básicos aplicáveis à inspeção de penetração são:

1) O penetrante deve atingir o defeito a fim de formar uma indicação. É importante aguardar o tempo suficiente para que o penetrante possa preencher o defeito. O defeito deve estar limpo e livre de matérias contaminantes, de modo que o penetrante possa atingi-lo livremente;

2) Não poderá haver a formação de uma indicação se o penetrante for completamente removido do defeito durante a lavagem. Antes da revelação há, pois, a possibilidade de que o penetrante seja removido não só da superfície, como também do defeito;

3) Rachaduras limpas são normalmente fáceis de detectar. Aberturas superficiais não contaminadas, independentemente de quanto sejam delgadas, raramente serão difíceis de serem detectadas através da inspeção de penetração;

4) Quanto menor o defeito, mais longo será o tempo de penetração. Fendas finas, à semelhança de rachaduras, necessitam de mais tempo para penetração do que defeitos, tais como porosidade;

5) Quando a peça a ser inspecionada for construída de material suscetível ao magnetismo, deve-se utilizar o método da inspeção por partículas magnéticas, caso haja equipamento disponível;

6) O revelador para o tipo penetrante visível, quando aplicado à superfície da peça, secará formando uma camada branca tênue e uniforme. Durante a secagem, indicações brilhantes vermelhas aparecerão nos locais onde haja defeitos superficiais. Se não houver indicações vermelhas, não haverá defeitos superficiais;

7) Ao proceder à inspeção de penetração com corante fluorescente, os defeitos aparecerão (sob luz negra) com coloração brilhante amarelo-verde. As áreas perfeitas apresentarão coloração azul-violeta escura;

8) É possível examinar a indicação de um defeito e determinar sua causa, bem como sua extensão. Tal julgamento pode ser feito sabendo-se algo sobre os processos de fabricação aos quais a peça foi submetida.

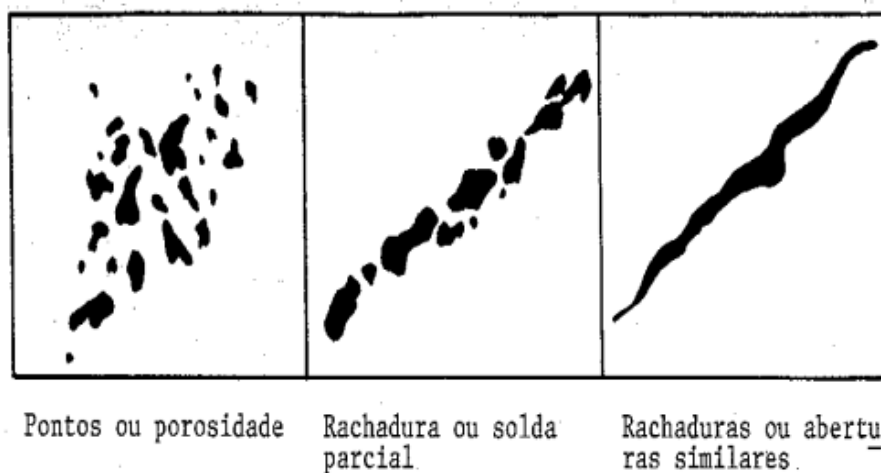
O tamanho da indicação ou o acúmulo do penetrante indicará a extensão do defeito. O brilho dará a medida de sua profundidade. As indicações de rachaduras profundas comportarão mais penetrantes, sendo, portanto, mais largas e brilhantes.

*Fonte: Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA*

Figura 10-12 Tipos de defeitos.

Fendas muito delgadas comportam pequena quantidade de penetrantes aparecendo, portanto, como linhas finas. A figura 10-12 apresenta alguns tipos de defeitos que podem ser localizados utilizando-se penetrantes corantes.

## Indicações Falsas

Na inspeção de penetração de corante não ocorrem falsas indicações, no sentido do que acontece na inspeção por partículas magnéticas. Há, entretanto, duas condições que podem ocasionar acúmulo de penetrante, confundindo-o muitas vezes com rachaduras e descontinuidade reais de superfície.

A primeira condição compreende as indicações causadas por lavagem imperfeita. Se todo o penetrante na superfície não for removido na operação de lavagem ou enxaguadura, depois

de decorrido o tempo de penetração, o penetrante não removido ficará visível. A evidência da lavagem imperfeita é geralmente fácil de identificar, posto que o penetrante se apresente em áreas espalhadas, ao invés dos contornos bem definidos encontrados nas indicações verdadeiras. Quando acúmulo de penetrantes não lavados forem encontrados na peça, esta deverá ser completamente reprocessada. O desengorduramento é recomendado para a remoção completa do penetrante.

As indicações falsas podem também aparecer onde as peças são encaixadas umas às outras. Se uma roda for encaixada num eixo, haverá uma indicação de penetrante na linha de encaixe. Isto é perfeitamente normal, posto que as duas peças não se achem soldadas. Indicações deste tipo são fáceis de identificar, já que apresentam formato e contorno regulares.

A radiação penetrante é projetada através da peça sob inspeção, produzindo uma imagem invisível ou latente no filme. Depois de revelado, o filme se torna uma radiografia ou figura sombreada do objeto.

Esse método de inspeção, numa unidade portátil, fornece um processo rápido e seguro de testar a integridade da estrutura do avião e dos motores.

As técnicas de inspeção radiográficas são utilizadas para localizar defeitos ou falhas na estrutura do avião ou nos motores com pouca ou nenhuma desmontagem. Isso constitui um contraste marcante em relação a outros tipos de inspeção não destrutiva que, geralmente, exigem a remoção, desmontagem e retirada da tinta da peça suspeita, antes que ela possa ser inspecionada. Devido à natureza do raio-X, há necessidade de um treinamento intensivo para o preparo de um operador do equipamento, sendo que somente pessoal legalmente habilitado pode operar as unidades de raio-X.

As três principais etapas no processamento do raio-X, abordadas nos parágrafos subsequentes são:

1) Exposição à radiação, incluindo a preparação;

2) Revelação do filme;

3) Interpretação da chapa radiográfica.

## Preparação e Exposição

Os fatores relativos à exposição radiográfica são tão interdependentes que há necessidade de todos serem levados em consideração, para qualquer tipo de exposição. Estes fatores incluem (não se achando, porém, a eles limitados) os seguintes:

a) Espessura e densidade do material;

b) Forma e tamanho do objeto;

c) Tipo de defeito a ser detectado;

d) Características do equipamento de raios-X;

e) A distância de exposição;

f) O ângulo de exposição;

g) As características do filme;

h) Tipos de telas ampliadoras, se utilizadas.

O conhecimento das possibilidades da unidade de raio-X será útil para a consideração dos outros fatores da exposição. Além da especificação em quilovolts, o tamanho, o transporte, a facilidade de manipulação e as particularidades de exposição do equipamento disponível devem ser inteiramente conhecidos.

A experiência, previamente adquirida, com equipamentos semelhantes é também muito útil na determinação das técnicas de exposição em geral. Uma lista ou registro de exposições anteriores fornecerá dados específicos, que poderão ser utilizados como orientação para radiografias futuras.

## Revelação do Filme

Depois de exposta ao raio-X, a imagem latente no filme torna-se permanentemente visível, processando-a sucessivamente com uma solução química reveladora, um banho de ácido e um banho de fixação, seguido por uma lavagem com água pura.

O filme consiste de um sal de prata sensível à radiação numa suspensão gelatinosa, formando uma emulsão. A solução reveladora converte os elementos afetados pela radiação na emulsão, em prata negra metálica. São essas partículas metálicas que formam a imagem. Quanto mais tempo o filme permanecer no revelador, mais prata metálica é formada, fazendo com que a imagem se torne cada vez mais escura. Excesso de tempo na solução reveladora resulta em super-revelação.

Um enxágue em banho ácido, conhecido como banho de parada, neutraliza instantaneamente a ação do revelador, paralisando o progresso da revelação.
Devido à emulsão macia e à qualidade não absorvente da base da maioria dos materiais negativos, é suficiente um banho de ácido bem fraco.
O objeto do banho de fixação é fixar a imagem no estágio desejado de revelação. Quando um material sensível à radiação é removido da solução reveladora, a emulsão permanece ainda com uma considerável quantidade de sais de prata que não foi afetada pelos agentes reveladores.
Esses sais são ainda sensíveis e, se forem deixados na emulsão, serão eventualmente escurecidos pela luz, obscurecendo a imagem. Logicamente, caso isso aconteça, o filme ficará imprestável.
O banho de fixação evita a descoloração, dissolvendo os sais de prata que possam ter permanecido na imagem revelada. Consequentemente, para se obter uma imagem permanente é preciso fixar o material sensível à radiação, removendo da emulsão todo sal de prata remanescente.
Após a fixação, torna-se necessário um enxágue completo para remover o agente fixador. A permanência deste provocaria sua combinação com a imagem, ocasionando manchas pardacento-amareladas de sulfeto de prata e o consequente desbotamento da imagem.
NOTA: Todo o processo de revelação deve ser conduzido sob uma luz tênue e a cuja cor o filme não seja sensível.

## Interpretação Radiográfica

Do ponto de vista do controle de qualidade, a interpretação radiográfica é a fase mais importante da radiografia. É durante essa fase que um erro de interpretação pode trazer consequências desastrosas. Os esforços, de todo processo radiográfico, acham-se centralizados nessa fase. A peça ou estrutura é aceita ou rejeitada. Condições de falha na integridade ou outros defeitos observados superficialmente, não entendidos ou erroneamente interpretados, podem destruir a finalidade e os esforços da radiografia, podendo prejudicar a integridade estrutural de todo o avião. Um grave perigo é o falso senso de segurança, adquirido pela aceitação da peça ou estrutura, baseada em interpretação incorreta.

À primeira vista, a interpretação radiográfica pode parecer simples, mas uma análise mais detalhada do problema cedo desfaz a impressão.

O assunto da interpretação é tão variado e complexo que ele não pode ser abordado adequadamente neste tipo de manual. Assim sendo, este capítulo fornecerá somente uma revisão breve das necessidades básicas para a interpretação radiográfica, incluindo algumas descrições de defeitos comuns.

A experiência tem demonstrado que na medida do possível a interpretação radiográfica deve ser feita próxima à operação radiográfica. É bastante útil, ao observar as radiografias, ter acesso ao material submetido à inspeção.

A radiografia pode assim ser comparada diretamente com o material e indicações devidas a fatos, tais como condição da superfície ou variações na espessura pode ser determinada imediatamente.

Os parágrafos subsequentes apresentam diversos fatores que devem ser levados em consideração ao se analisar uma radiografia.

Há três tipos básicos de defeitos: falhas, inclusões e irregularidades dimensionais. Este último tipo de defeito não se enquadra nos comentários, pois seu principal fator diz respeito a grau, não sendo a radiografia tão detalhada. As falhas e inclusões podem aparecer na radiografia sob uma variedade de forma que vão desde um plano bidimensional a uma esfera tridimensional. Uma rachadura, rasgo ou vinco terão mais aproximadamente o aspecto de plano bidimensional, ao passo que uma cavidade se assemelhará a uma esfera tridimensional. Outros tipos de defeitos como contrações, inclusões óxidas, porosidade, etc. aparecerão com aspectos que se encaixam entre os dois extremos acima citados.

É importante analisar a geometria de um defeito, especialmente no que diz respeito à agudeza das extremidades. Num defeito tipo fenda, por exemplo, as extremidades aparecerão muito mais agudas do que em um defeito tipo esfera, tal como uma cavidade gasosa.

A rigidez do material pode também ser afetada negativamente pelo formato do defeito. Um defeito apresentando extremidades pontiagudas pode estabelecer uma fonte de concentração de esforços localizados. Os defeitos esféricos afetam a rigidez do material num grau inferior aos defeitos com extremidades pontiagudas. Os padrões de especificações e referências estipulam geralmente que os defeitos com extremidades pontiagudas, tais como rachaduras, vincos, etc. são causas para rejeição. A rigidez do material é afetada também pelo tamanho do defeito. O componente metálico de certa área

é projetado para suportar uma determinada carga, incluindo um fator de segurança. A redução dessa área devido a um grande defeito enfraquece a peça e reduz o fator de segurança. Alguns defeitos são muitas vezes tolerados nos componentes devido a estes fatores de segurança. Nesse caso, o analista deve determinar o grau de tolerância ou imperfeição especificado pelo engenheiro do projeto. Tanto o tamanho como o formato do defeito devem ser criteriosamente levados em consideração, posto que pequenos defeitos com extremidades pontiagudas podem ser tão perigosos quanto grandes defeitos sem extremidades pontiagudas.

Outra importante consideração na análise do defeito é a sua localização. Os componentes metálicos estão sujeitos a numerosos e variados esforços em suas atividades. De um modo geral, a distribuição destes esforços não é equalizada nas peças ou componentes e determinadas áreas críticas podem estar mais sujeitas a esforço. O analista deve dedicar atenção especial a essas áreas. Outro aspecto na localização dos defeitos é que certos tipos de descontinuidades próximas umas às outras podem tornar-se potencialmente a fonte de concentração de esforço, portanto esse tipo de situação deve ser examinado com bastante atenção.

A inclusão é um tipo de defeito que contém material aprisionado. Esses defeitos podem ser de maior ou menor densidade que a peça que está sendo radiografada. Os comentários acima sobre o formato, tamanho e localização do defeito aplicam-se igualmente às inclusões e falhas. Além disso, um defeito portador de matéria estranha pode tornar-se uma fonte de corrosão.

## Perigos da Radiação

A radiação das unidades de raio-X e fontes de radioisótopos é capaz de destruir o tecido humano. Reconhecemos que ao manipularmos tais equipamentos, as devidas precauções devem ser tomadas. As pessoas devem ficar afastadas todo o tempo do feixe primário dos raios-X.

A radiação produz modificações em todas as matérias pelas quais ela passa. O que também é verdadeiro com respeito ao tecido humano. Quando a radiação atinge as moléculas do corpo, o efeito pode não passar pelo deslocamento de alguns elétrons, porém um excesso dessa modificação pode causar males irreparáveis. Quando um organismo complexo é

exposto à radiação, o grau de lesão, caso exista, depende de quais das células do seu corpo foram atingidas.

Os órgãos mais vitais encontram-se no centro do corpo, portanto a radiação mais penetrante é passível de ser mais perigosa nessa área. A pele normalmente absorve a maior parte da radiação e, portanto, reage mais prontamente a seus efeitos.

Se todo o corpo for exposto a uma alta dose de radiação, isso poderá resultar em morte.

Em geral, o tipo e a seriedade dos efeitos patológicos da radiação dependem da quantidade de radiação recebida de uma só vez e da percentagem de todo o corpo exposto. As doses menores de radiação podem causar problemas sanguíneos e intestinais de pouca duração. Os efeitos mais prolongados são leucemia e câncer. A exposição à radiação pode também provocar lesão da pele e queda do cabelo.

## 2.5 TESTE ULTRASSÔNICO

O equipamento de detecção ultrassônica tornou possível localizar defeitos em todos os tipos de materiais, sem provocar-lhes quaisquer danos. Minúsculas rachaduras, fendas e falhas, extremamente pequenas para serem vistas pelo raio-X, são localizadas pela inspeção ultrassônica. O instrumento de teste ultrassônico necessita de acesso a somente uma superfície do material a ser inspecionado e pode ser utilizado com a técnica do feixe em linha reta ou em ângulo.

Dois métodos básicos são aplicados na inspeção ultrassônica. O primeiro deles é o teste de inversão. Nesse método de inspeção, a peça sob exame e a unidade de pesquisa ficam totalmente submersas num líquido que pode ser água ou qualquer outro fluido adequado.

O segundo método é denominado teste por contato, que é facilmente adaptado ao uso no hangar (esse é o método aqui apresentado). Nesse método a peça a ser inspecionada e a unidade de pesquisa são acopladas com um material viscoso (líquido ou pasta) que reveste as faces da unidade de pesquisa e o material sob exame.

Há dois sistemas básicos ultrassônicos:

1) O pulsante;

2) O de ressonância.

O sistema pulsante pode ser de eco ou de transmissão direta. O sistema de eco é o mais versátil dos dois.

**Eco-pulso**

Os efeitos são detectados medindo-se a amplitude dos sinais refletidos e o tempo necessário para esses sinais irem das superfícies para as descontinuidades. (Ver a figura 10-13).

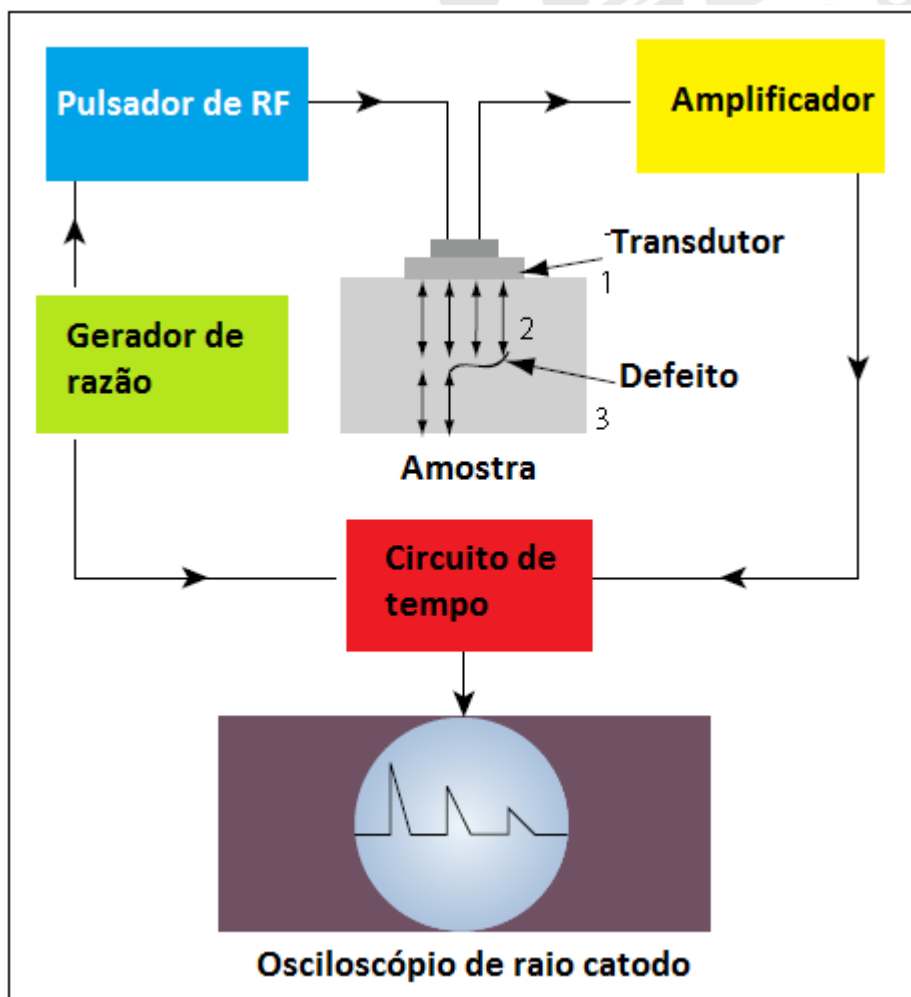
A base de tempo, que é disparada simultaneamente com cada pulso de transmissão, gera um ponto luminoso que se desloca de um lado a outro do CRT (tubo de raios catódicos). O ponto varre a face do tubo da esquerda para a direita, de 50 a 5.000 vezes por segundo, ou mais rapidamente se selecionado para varredura automática de alta velocidade.

*Fonte: Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA*

Figura 10-13 Diagrama em bloco do sistema básico de eco-pulso.

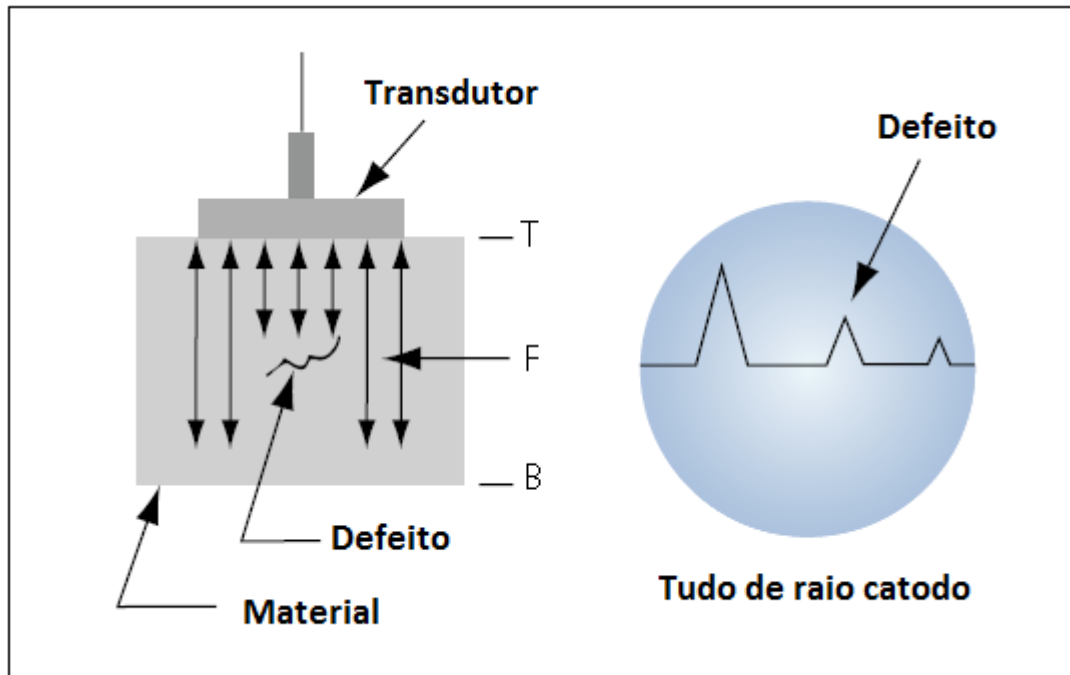
Devido à velocidade do ciclo de transmissão e recepção, a figura no osciloscópio parece estacionária. Poucos segundos, após ter início a varredura, o gerador de razão excita eletricamente o pulsador de RF e este por seu turno emite um pulso elétrico. O transdutor converte esse pulso numa curta série de ondas de som ultrassônicas. Se as faces de contato do transdutor e da peça estiverem devidamente orientadas, o ultrassom será refletido para o transdutor ao atingir o defeito interno e a superfície oposta da peça.

*Fonte: Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA*

Figura 10-14 Apresentação do osciloscópio em relação à localização do defeito.

O intervalo de tempo compreendido entre a transmissão do impulso inicial e a recepção dos sinais refletidos na peça é medido pelos circuitos de tempo.

O pulso refletido recebido pelo transdutor é amplificado e então transmitido ao osciloscópio, onde o pulso recebido devido ao defeito é apresentado na tela do CRT. O PULSO é apresentado na mesma posição relativa entre os pulsos frontais e traseiros, da mesma forma que o defeito se encontra entre as superfícies frontal e traseira da peça. (Ver a figura 10-14)

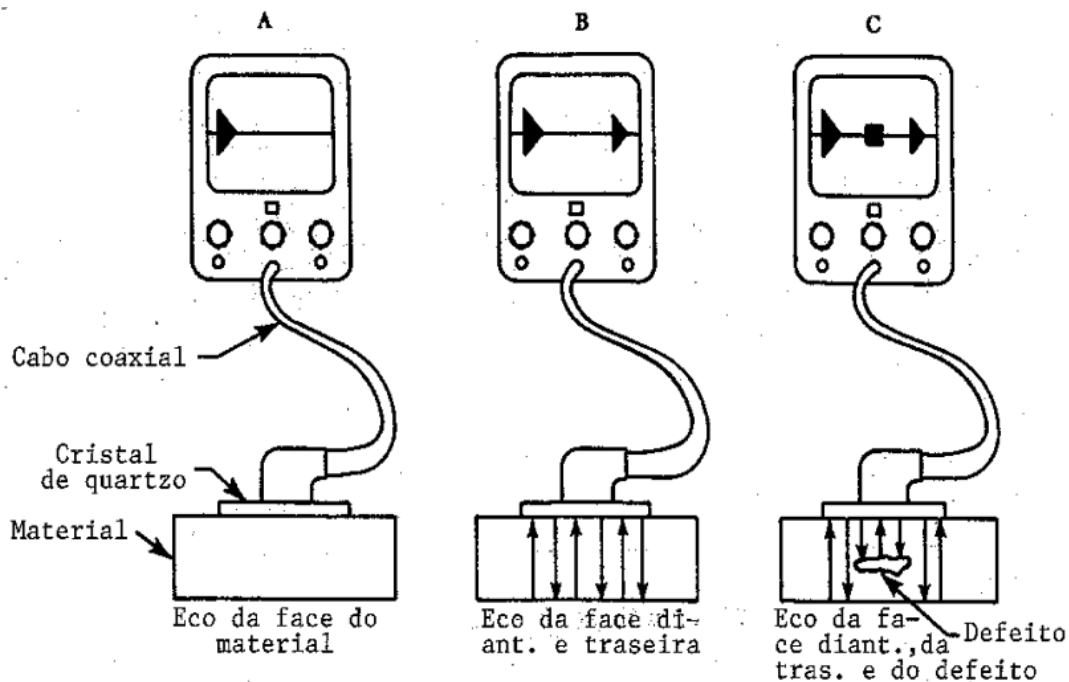
O Reflectoscópio é um equipamento tipo eco-pulso, podendo ser utilizado para detecção de defeitos tais como rachaduras, dobras, inclusões, deslaminação, soldas parciais, falhas, contrações, porosidade, escamação e outros defeitos sob a superfície.

*Fonte: Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA*

Figura 10-15 Operação do reflectoscópio - teste de feixe direto.

O princípio operacional é ilustrado na figura 10-15, onde os pulsos elétricos são transformados pelo cristal em vibrações ultrassônicas que são transmitidas para o interior do material. O sinal refletido pelo pulso inicial provoca uma indicação no tubo de raios catódicos apresentada na figura 10-15, detalhe A. A apresentação do detalhe B correspondente ao reflexo emitido pelas vibrações que atingiram a parte inferior da peça e retornaram à unidade de pesquisa, que as transformou novamente em pulsos elétricos.

A indicação vertical na tela, de seus ecos, é conhecida como a "primeira indicação de retorno". Se um defeito estiver presente (figura 1015, detalhe C), uma parte das vibrações que atravessa a peça é refletida pelo defeito, provocando uma indicação extra na tela. O espaço percorrido pela varredura horizontal é correspondente ao tempo decorrido desde que as vibrações foram emitidas pelo cristal. Esse tipo de operação, designado como teste de feixe direto, é indicado para detecção de defeitos cujos planos são paralelos ao plano da peça.

A aplicação do teste de feixes em ângulo, também conhecido como teste de onda recortada, inclui os seguintes casos:

1) Defeitos cujos planos formam ângulo com o plano da peça;

2) Descontinuidade em áreas que não podem ser atingidas utilizando-se a técnica padrão do feixe direto;

3) Alguns defeitos internos em chapas metálicas;

4) Alguns tipos de defeitos internos em tubulações ou barras, tais como inclusões e pequenas fendas próximas à superfície;

5) Rachaduras no metal básico, provenientes de soldas;

6) Alguns defeitos de soldas.

O teste de feixe em ângulo difere do teste de feixe direto, somente na forma pela qual as ondas ultrassônicas atravessam o material que está sendo testado.

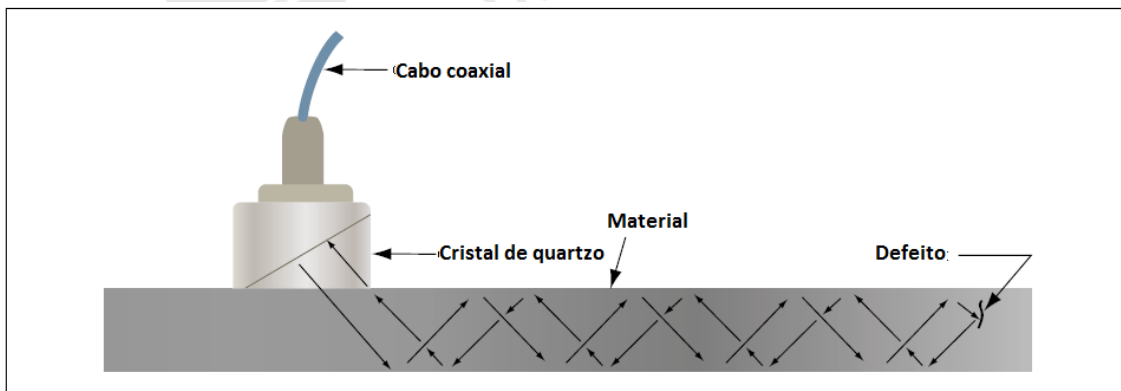
Como mostra a figura 10-16, o feixe é projetado no material num ângulo agudo à superfície, devido a um corte angular no cristal que fica montado sobre um plástico.

*Fonte: Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA*

Figura 10-16 Operação do reflectoscópio - teste de feixe em ângulo.

O feixe ou parte dele reflete sucessivamente das superfícies do material ou de qualquer outra descontinuidade, incluindo a borda do mesmo.

No teste de feixe direto, a distância horizontal na tela entre o pulso inicial e o primeiro eco representa a espessura da peça, enquanto que no teste de feixe em ângulo a distância representa o espaço entre a unidade de pesquisa e a borda oposta da peça.

## Sistema de Ressonância

Esse sistema difere do método pulsante no sentido de que a frequência de transmissão é ou pode ser continuamente variada. O método de ressonância é utilizado principalmente para medida da espessura, quando os dois lados da peça sob teste são lisos e paralelos. O ponto no qual a frequência transmitida equivale ao ponto de ressonância da peça sob teste é o fator que determina a espessura. É preciso que a frequência das ondas ultrassônicas, correspondente a um determinado ajuste do mostrador, seja conhecida com exatidão. Constantemente deve ser efetuado teste com frequencímetro para evitar desvio de frequência.

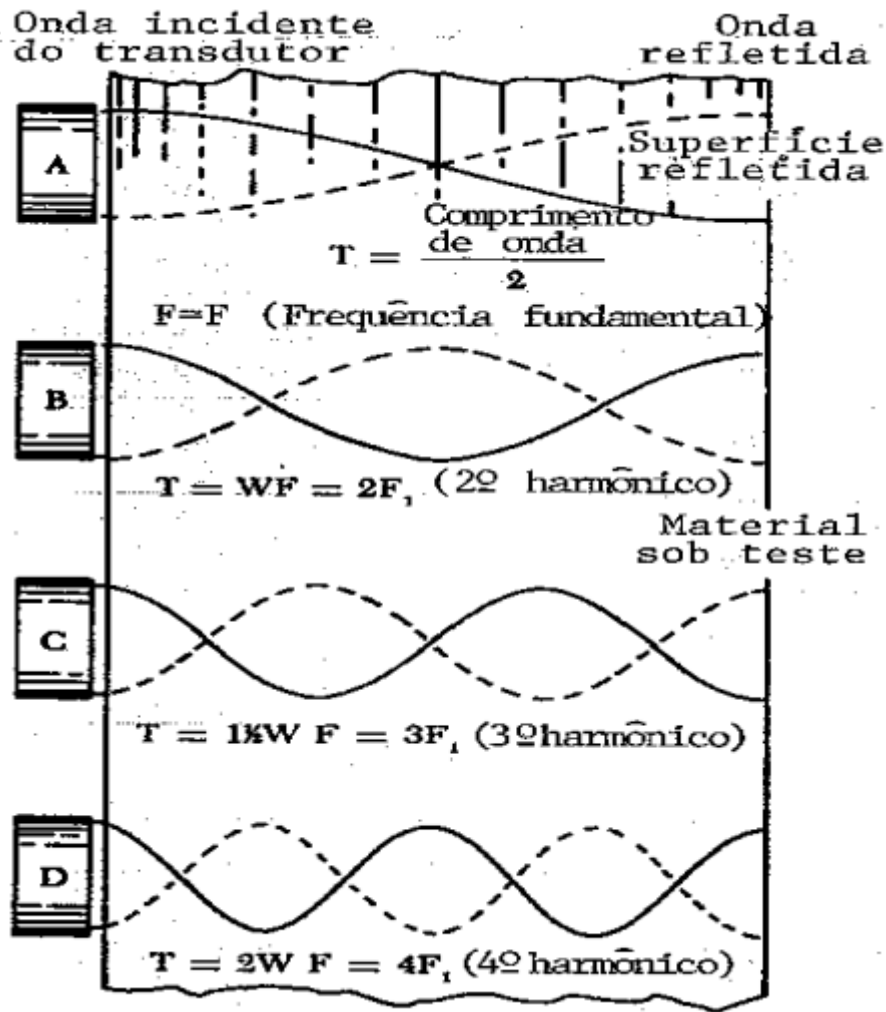
Se a frequência da onda ultrassônica for tal que seu comprimento de onda seja duas vezes a espessura do material (frequência fundamental), a onda refletida chegará ao transdutor na mesma fase que a da transmissão original. Ocorrerá desta forma um reforço do sinal, o que equivale dizer, a ressonância. Se a frequência for aumentada de forma que três vezes o comprimento de onda equivalha a quatro vezes a espessura, o sinal refletido chegará então completamente fora de fase com o sinal transmitido, ocorrendo o cancelamento do sinal. Tornando-se a aumentar a frequência de tal forma que o comprimento de onda seja novamente igual à espessura do material, obtem-se um sinal refletido em fase com o sinal transmitido, ocorrendo uma vez mais a ressonância. (Ver a figura 10-17).

*Fonte: Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA*

Figura 10-17 Condições de ressonância ultrassônica numa chapa metálica.

Iniciando-se na frequência fundamental e aumentando-se gradualmente a frequência, podem ser observados os sucessivos cancelamentos e ressonâncias, bem como as leituras utilizadas para verificar a leitura da frequência fundamental.

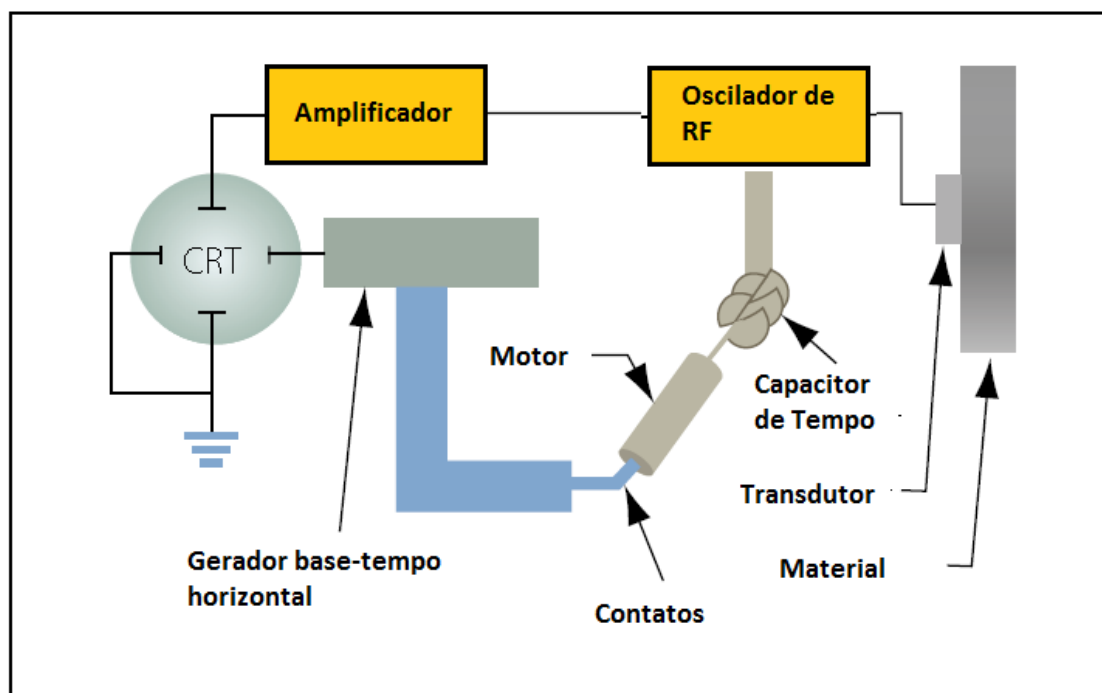
Em alguns equipamentos, o circuito oscilador possui um condensador movimentando um motor que modifica a frequência do oscilador (Ver a figura 10-18). Em outros equipamentos, a frequência é modificada por processo eletrônico.

*Fonte: Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA*

Figura 10-18 Diagrama em bloco do sistema ressonante de medição da espessura.

A variação da frequência é sincronizada com a varredura horizontal de um CRT. O eixo horizontal representa a escala de frequência. Se em seu espaçamento ocorrerem ressonâncias, o circuito é construído de tal forma que elas se apresentarão verticalmente. Escalas transparentes calibradas são colocadas na frente do tubo, de modo que a espessura possa ser lida diretamente. Os instrumentos operam normalmente entre 0,25 e 10 MHz, em quatro ou cinco faixas.

O instrumento de medição da espessura por ressonância pode ser utilizado para testar metais como aço, ferro fundido, latão, níquel, cobre, prata, chumbo, alumínio e magnésio. Além disso, podem ser localizadas e avaliadas áreas de corrosão ou desgaste nos tanques, tubulações, chapas de asa do avião e outras estruturas.

Existem unidades de leitura direta, operadas por mostrador, que medem espessuras entre 0,025 e 3 polegadas, com precisão superior a + ou - 1%.

A inspeção ultrassônica requer um operador habilitado que esteja familiarizado com o equipamento utilizado, bem como o método de inspeção a ser aplicado às diversas peças submetidas a teste.

## 2.6 TESTE DE EDDY CURRENT

Análise eletromagnética é um termo na qual descreve os métodos de testes eletrônicos, envolvendo a intersecção de campos magnéticos e correntes circulatórias. A técnica mais usada é a de "Eddy Current".

*Fonte: Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA*

Na construção de uma aeronave o "Eddy Current" é usado para inspecionar as carcaças, estampagens, peças mecanizadas, forjadas e extrusões.

### Princípios Básicos

Quando uma corrente alternada passa através de uma bobina, ela desenvolve um campo magnético ao seu redor, que por sua vez induz uma tensão de polaridade oposta da bobina que se opõe ao fluxo de corrente original. Essa bobina é colocada de tal maneira que seu campo magnético passa em um corpo de prova de bom condutor de eletricidade no qual a "Eddy Current" será induzida. O "Eddy Current" cria seu próprio campo que varia em oposição do campo original para o fluxo de corrente original. Assim a sensibilidade para o "Eddy Current" determina o fluxo de corrente através da bobina (Figura 1019).
O tamanho e a fase do campo dependem basicamente da resistividade e permeabilidade do corpo de prova em evidência e ele nos permite fazer uma avaliação qualitativa de várias propriedades físicas do material de teste.

A interação do campo de "Eddy Current" com o resultado do campo original é uma inversão de força que pode ser medida utilizando um circuito eletrônico similar a uma ponte de Wheastone.

O corpo de prova é introduzido através do campo de uma bobina de indução eletromagnética e seu efeito na impedância da bobina ou na saída de tensão de uma ou mais bobinas de teste é observado.

O processo pelo qual os campos elétricos são emitidos para examinar uma peça em várias condições, envolve a transmissão de uma energia através do campo de prova como a transmissão do Raio-X, calor ou Ultrassom.

Na transmissão do Raio-X, calor ou ultrassom, o fluxo de energia flui em uma amplitude máxima tendo uma direção, intensidade identificada, obedecendo as leis de absorção, reflexão, difração e difusão. Elementos receptíveis podem ser colocados dentro de um campo e uma medida de fluxo de energia é possível de se obter.

Entretanto, em testes eletromagnéticos a energia se distribui em um raio pré-determinado, passando por um processo de transformação de energia magnética para elétrica e, subsequentemente, voltando para a energia magnética. Como a corrente induzida flui em um circuito fechado, ela não é conveniente e nem usualmente possível para interceptar os limites do fluxo do campo de prova.

### Inspeção Visual

Testes não destrutivos pelo método visual constituem a mais velha forma de inspeção. Defeitos que possam passar despercebidos a olho nu podem ser ampliados até tornarem-se visíveis. Telescópios, boroscópios e lentes ajudam na execução da inspeção visual.

Os comentários sobre a inspeção visual neste manual serão confinados à apreciação da qualidade de soldas pelo método visual. Embora o aspecto da solda pronta não seja uma indicação positiva da sua qualidade, mesmo assim dá uma boa idéia do cuidado com que foi executada.

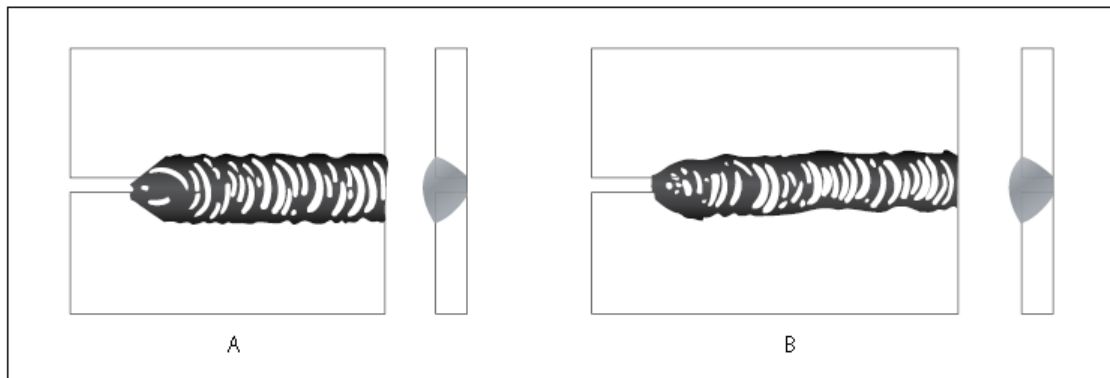
Uma junção por solda bem executada é muito mais forte que o metal básico ligado por ela. As características de uma junção por solda bem executada são apresentadas nos parágrafos seguintes. (Ver a figura 10-20).

*Fonte: Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA*

Figura 10-20 Exemplos de boas soldas.

Uma boa solda tem largura uniforme, as ondulações são uniformes e bem cunhadas no metal base, que não apresenta queimadura devido ao superaquecimento.

A solda tem boa penetração, não apresentando bolhas, porosidade ou inclusões. As bordas do filete ilustrado na figura 10-20 (B) não estão em linha reta, entretanto, a solda está bem executada, pois a penetração é excelente.

Penetração é a profundidade da fusão numa solda. A fusão integral é a característica mais importante que contribui para uma solda segura.

A penetração é afetada pela espessura do material a ser unido, pelo tamanho da vareta de enchimento e do modo pelo qual ela é adicionada. Na solda de topo a penetração deve corresponder a 100% da espessura do metal base. Na solda de canto angular (filete), a necessidade da penetração deve ser de 25 a 50% da espessura do metal base. A largura e profundidade do rebordo das soldas de topo e de filete acham-se apresentadas na figura 10-21.

Visando melhor determinar a qualidade de uma junção por solda, vários exemplos de soldas imperfeitas são apresentados nos parágrafos seguintes.

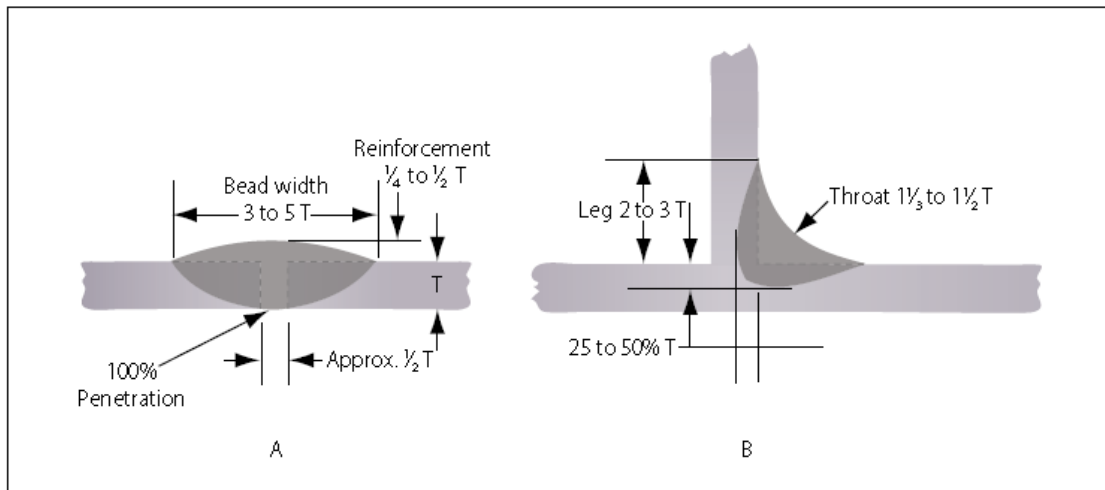
A solda vista na figura 10-22 (A) foi feita apressadamente. O aspecto alongado e pontiagudo das ondulações foi causado por calor excessivo ou chama oxidante.

*Fonte: Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA*

Figura 10-21 (a) solda de topo e (b) solda de filete, mostrando a largura e profundidade do rebordo.

Se a solda fosse transversal, possivelmente apresentaria bolhas de gás, porosidade e inclusão de escória.

A figura 10-22 (B) apresenta uma solda com penetração indevida e dobras frias ocasionadas por calor insuficiente. Ela parece grosseira, irregular e seus bordos não estão cunhados no metal base.

Durante o processo da solda há uma tendência de fervura, caso seja usada uma quantidade excessiva de acetileno. Isso provoca muitas vezes leves protuberâncias ao longo do centro e crateras na extremidade da solda. A firmeza do corpo da solda será evidenciada através de verificações cruzadas. Se a solda fosse submetida a um corte transversal, bolhas e porosidade seriam visíveis. Essa situação é apresentada na figura 10-22 (C).

Uma solda mal feita, com bordos irregulares e bastante variação na profundidade da penetração acha-se ilustrada na figura 10-22 (D).

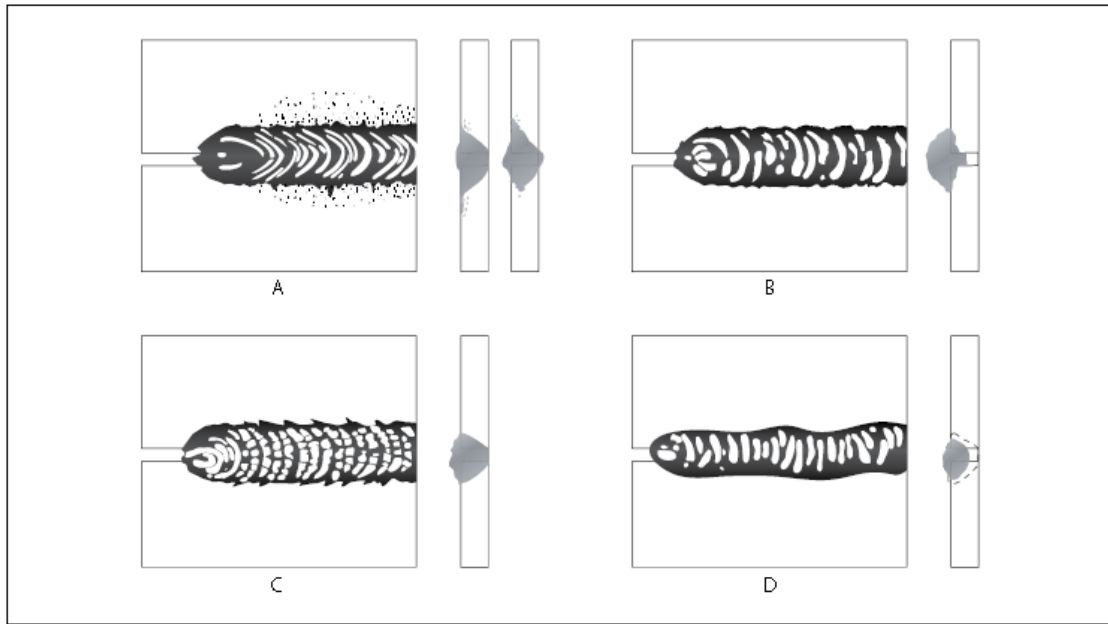
Ela tem frequentemente o aspecto de uma solda fria.

*Fonte: Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA*

Figura 10-22 Exemplos de soldas mal feitas.

**BRASIL. IAC – Instituto de Aviação Civil. Divisão de Instrução Profissional Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA (Airframe & Powerplant Mechanics-General Handbook). Edição Revisada 2002.**

**http://www.manutencaodeaeronaves.eng.br/principal.asp?page=4&article=32**

Ao findar a instrução de Inspeção de Aeronaves, espero que tenhamos levado a bom êxito, o discorrer de nossa disciplina e que você possa identificar e saber da importância da inspeção e manutenção preventiva nas aeronaves, as técnicas de inspeção, o conjunto de conhecimentos e técnicas existentes para a identificação de danos em peças e os diversos

componentes das aeronaves, bem como os critérios e procedimentos que devem ser seguidos.

Esperamos que o conhecimento aqui adquirido tenha contribuído significativamente a seu aprendizado, cujo aperfeiçoamento deve ser constante.

Fraterno abraço!

## Anotações